

14.689/H/02

SUPER HIGHWAY TRUNK SYSTEM MENGGUNAKAN OPTIC AMPLIFIER DAN SISTEM KOHEREN

TUGAS AKHIR

Disusun oleh :

Noercholis Firmansyah

Nrp. 2293.100.035



PERPUSTAKAAN I T S	
Tgl. Terima	17-9-00
Terima Dari	H
No. Agenda Pp.	9269

RSE
621.38275

Fir
S-1
1998

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1998



SUPER HIGHWAY TRUNK SYSTEM MENGGUNAKAN OPTIC AMPLIFIER DAN SISTEM KOHEREN

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro

Pada

Bidang Studi Teknik Telekomunikasi

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing



Ir. HANG SUHARTO, M.Sc.

NIP. 130 520 753

SURABAYA

Maret, 1998

ABSTRAK

Kebutuhan akan sistem komunikasi dengan kecepatan tinggi serta ketersediaan bandwidth yang lebar menyebabkan timbulnya sistem transmisi dengan serat optik. Super Highway Trunk System merupakan sistem yang menggunakan kecepatan tinggi dalam penransmisian / penyaluran sinyal informasi. Kecepatan yang digunakannya dalam orde Gbit/s. Di mana prosedur multipleks yang digunakan adalah STM-16, yaitu 2,5 Gbit/s.

Pada tugas akhir ini metodologi yang digunakan adalah dengan studi literatur dan pengkajian mengenai hal yang berkaitan dengan sistem komunikasi serat optik dengan kecepatan tinggi, penguat optik serta sistem koheren. Selanjutnya dikaji penggunaannya pada sistem, sehingga diperoleh kelebihan tertentu dibandingkan dengan sistem konvensional.

Penggunaan pengulang saat ini diarahkan untuk menggunakan penguat optik sebagai linear repeater. Penggunaan penguat optik pada sistem ini dapat sebagai penguat daya, preamplifier, postamplifier, maupun remote amplifier. Selain itu, penggunaan sistem komunikasi yang menggunakan teknik deteksi homodyne maupun heterodyne ikut pula mendukung sistem komunikasi dengan kecepatan tinggi. Dengan teknik ini cahaya tidak diperlakukan pada sisi level intensitas saja, melainkan amplitudo, frekuensi, maupun fasenya dapat diperlakukan sebagai media carrier.

Pada tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan penguat optik (Optical Amplifier) pada sistem ini dapat memperlebar rentang transmisi, sehingga dapat mengurangi jumlah pengulang maupun tanpa pengulang untuk rentang tertentu. Sedangkan penggunaan sistem koheren pada sistem ini lebih diarahkan untuk peningkatan sensitivitas penerima. Sensitivitas penerima dalam hal ini dinyatakan dalam jumlah photon yang dibutuhkan untuk mencapai BER 10^{-9} . Sehingga deteksi heterodyne merupakan sistem deteksi yang mudah dalam pengimplementasiannya, dikarenakan frekuensi intermediatennya tidak berharga nol.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan mengucap syukur ke hadirat Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

SUPER HIGHWAY TRUNK SYSTEM MENGGUNAKAN OPTIC AMPLIFIER DAN SISTEM KOHEREN

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan akademis untuk memperoleh gelar **SARJANA TEKNIK ELEKTRO** pada Bidang Studi Teknik Telekomunikasi - Jurusan Teknik Elektro - Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Akhirnya penulis berharap semoga hasil Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Februari 1998

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan mengucap Alhamdulillah, serta dengan segenap ketulusan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan secara moril dan materiil kepada :

1. Ir. Hang Suharto, MSc., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan persetujuan tugas akhir ini.
2. Ir. M. Aries Purnomo, selaku Koordinator Bidang Studi Teknik Telekomunikasi.
3. Ir. Teguh Yuwono, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
4. Ir. Yoyon K. S. dan Ir. Faisal Gunawan, selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan selama studi.
5. Pak Salehuddin, Pak Djoko Suprayitno, serta bapak dan ibu dosen Bidang Studi Teknik Telekomunikasi pada khususnya, serta dosen Jurusan Teknik Elektro pada umumnya, atas bimbingan, saran dan masukan selama studi.
6. Ayah, Ibu, kakakku Yasin, dan adikku Andi, serta paman, bibi, kakek, dan nenekku yang selalu memberikan dorongan moril dan materiil, kepercayaan, serta fasilitas yang menunjang selama studi.
7. Pak Teguh Prihantoro dan Pak Bagus Hambali, dari PT. INDOSAT, atas bantuan dan masukan yang diberikan.
8. Teman - teman penghuni Lab-301, yang dimulai dari senior, yaitu Mas Arief, Muluk, Boedi, Ibud, Bambang "Danks", Khamid, Teman seangkatan, yaitu Nas yang sudah lulus, Ari "Skipper", Ach, "Jeny" Holle,

Miko "Moki", Rifqi, Ali, Eko, Yasin, Nono, Budiarto, Astina, Eka, Ririn, Eni, Nanik, Happy, Hasan, Lia, Zepplin serta teman - teman lain yang tidak cukup disebutkan satu per satu.

9. Mas Syaifuddin dan I. G. P. Asto, atas bantuan data, saran, masukan, dan kritik dalam penulisan tugas akhir ini.
10. Mas Hendry, Teguh, serta karyawan serta seluruh rekan - rekan mahasiswa yang tidak mungkin disebutkan satu per satu, yang telah banyak membantu selama penyelesaian tugas akhir.
11. Semua yang telah membantu hingga terselesaikannya tugas akhir ini, yang mungkin tidak terhapal namanya, sehingga tidak dapat penulis sebutkan.

Akhirnya dengan kesungguhan hati penulis berharap agar Allah SWT melimpahkan rahmat-Nya, serta membalas segala budi baik yang telah diberikan.

Surabaya, Februari 1998

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Metodologi	3
1.5 Sistematika Pembahasan	4
1.6 Tujuan	5
1.7 Relevansi	5
BAB II SUPER HIGHWAY TRUNK SYSTEM	6
2.1 Umum	6
2.2 Perangkat Terminal	8
2.2.1 Perangkat Sistem Dengan Pengulang	8
2.2.1.1 Terminal Station	9
2.2.1.2 Perangkat Terminal Transmisi	9
2.2.1.3 Perangkat Terminal Kabel	12

2.2.1.4 Power Feed Equipment	14
2.2.1.4.1 Rangkaian Catu Daya Pengulang	15
2.2.1.4.2 Pentanahan Catu Daya Pengulang	18
2.2.1.4.3 Pengamanan Catu Daya	20
2.2.1.5 Line Monitoring Equipment	20
2.2.1.6 Perangkat Bawah Laut	21
2.2.1.7 Perangkat Pengulang	22
2.2.1.7.1 Cara Kerja Pengulang	23
2.2.2 Perangkat Sistem Tanpa Pengulang	24
2.2.2.1 Terminal Transmisi Equipment	24
2.2.2.2 Supervisory Equipment	25
2.2.2.3 Optical Amplifier Equipment	26
2.2.2.3.1 Terminal Post Amplifier	26
2.2.2.3.2 Terminal Pre Amplifier	28
2.2.2.4 Undersea Equipment	30
2.2.2.5 Pencabangan Pasif	30
2.3 Synchronous Digital Hierarchy	31
2.3.1 Prinsip Dasar	31
2.3.2 Elemen - Elemen Multipleksing	32
2.3.3 Struktur Frame SDH	34
2.4 Wavelength Division Multiplexing	36
BAB III PENGGUNAAN OPTIC AMPLIFIER PADA SUPER HIGHWAY TRUNK SYSTEM	41

3.1 Umum	41
3.2 Sistem Penguat EDFA	42
3.2.1 Gain	45
3.2.2 Noise	46
3.2.3 Sumber Pompa	49
3.2.4 Komponen Pasif	49
3.3 Penggunaan Penguat Optik Pada Jaringan Kabel Laut ..	50
3.3.1 Penerapan EDFA	51
3.3.2 Sistem Kabel Laut Tanpa Pengulang	52
3.3.2.1 Postamplification	53
3.3.2.2 Preamplification	54
3.3.2.3 Remote Amplification	55
3.3.2.3.1 Remotely Pumped Postamplifier ..	59
3.3.2.3.2 Remotely Pumped Preamplifier ...	60
3.3.3 Sistem Kabel Laut Dengan Pengulang	62
3.3.3.1 Degradasi Terminal	63
3.3.3.1.1 Signal To Noise Ratio	63
3.3.3.1.2 Distorsi Sinyal	64
3.3.3.1.3 Pengaruh Polarisasi	65
3.3.4 Aplikasi EDFA Untuk Jarak Jauh	65
3.4 Rentang Jarak Dengan EDFA	68
BAB IV SISTEM KOHEREN PADA SUPER HIGHWAY TRUNK SYSTEM	69
4.1 Umum	69

4.2 Penggunaan Sumber Cahaya	71
4.3 Optical Frequency Division Multiplexing	74
4.4 Sistem Koheren	80
4.4.1 Konsep Dasar	80
4.4.2 Deteksi Homodyne	83
4.4.3 Deteksi Heterodyne	83
4.5 Teknik Modulasi	84
4.5.1 Direct Detection OOK	85
4.5.2 Sistem Homodyne OOK	86
4.5.3 Sistem Homodyne PSK	88
4.5.4 Deteksi Heterodyne	90
4.6 Sistem Transmisi Koheren	92
BAB V PENUTUP	99
5.1 Kesimpulan	99
5.2 Saran	100
DAFTAR PUSTAKA	101

LAMPIRAN

Gambar 2.19	Full Duplex Wavelength Division Multiplexing	37
Gambar 2.20	Perbandingan Kapasitas Dengan Waktu	38
Gambar 3.1	Aplikasi Penguat Optik	43
Gambar 3.2	Penguatan Ion Erbium Pada Saluran Fiber	44
Gambar 3.3	Sistem Penguat EDFA	44
Gambar 3.4	Perbandingan Rugi - Rugi Dari Transmisi Dan Absorpsi EDFA	46
Gambar 3.5	Propagasi Pompa Daya Dan Sinyal Pada EDFA	47
Gambar 3.6	Gain Terhadap Daya Pompa Pada EDFA	47
Gambar 3.7	Daya Sinyal Terhadap Gain Atau Noise Figure Pada EDFA	48
Gambar 3.8	Aplikasi Berbeda Dari Optical Amplifier	53
Gambar 3.9	Implementasi Remote Amplifier	56
Gambar 3.10	Diagram Remote Amplification	56
Gambar 3.11	Konfigurasi EDFA Pada Sistem Tanpa Pengulang ...	57
Gambar 3.12	Sistem Konfigurasi Remote Amplifier Dan Post/Pre Amplifier Lokal	57
Gambar 3.13	Budget Improvement Remote Amplification	59
Gambar 3.14	Kebutuhan Daya Pompa Pada Remote Amplification	60
Gambar 3.15	Ssistem Yang Digunakan Pada Pengulang	62
Gambar 3.16	Diagram Level Daya Sistem Pengulang 1R	64
Gambar 3.17	Aplikasi EDFA Untuk Link Jarak Jauh	67

Gambar 3.18	Perbandingan Kecepatan Dengan Rentang Jarak ...	68
Gambar 4.1	Ilustrasi Filter Optik Dan Filter Elektronik	70
Gambar 4.2	Penggunaan Saluran Pada 10 GHz	71
Gambar 4.3	Spektrum Sumber Cahaya Semikonduktor	73
Gambar 4.4	Kebutuhan Laser Linewidth Pada Sistem Koheren ...	74
Gambar 4.5	Sensitivitas Penerima	75
Gambar 4.6	Metoda Pemisahan Sinyal Optik	76
Gambar 4.7	Filter Periodik	77
Gambar 4.8	Aplikasi Optical FDM	79
Gambar 4.9	Konsep Dasar Sistem Koheren	81
Gambar 4.10	Diagram Penerima Homodyne	89
Gambar 4.11	Konfigurasi Umum Penerima Heterodyne	91
Gambar 4.12	Diagram Blok Penerima Optik	94

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Teknologi WDM	40
Tabel 3.1 Rentang Jarak Sistem Tanpa Pengulang (km)	61
Tabel 4.1 Probability of Error Untuk Sistem Koheren	92
Tabel 4.2 Jumlah Photon Yang Dibutuhkan Untuk BER 10^{-9}	93
Tabel 4.3 Jumlah Photon Pada Penerima Optik	96
Tabel 4.4 Transmitter Optik Transmisi Koheren	97
Tabel 4.5 Receiver Optik Sistem Koheren	98

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Dalam perkembangan telekomunikasi layanan jaringan serat optik semakin diminati oleh para pengguna jasa layanan telekomunikasi karena kualitas hasil dan kecepatan penyampaian informasi. Dengan alokasi bandwidth yang lebar memang memungkinkan penyaluran informasi melalui kabel serat optik dengan kecepatan yang tinggi.

Sejalan dengan perkembangan jaringan dan sistem yang menggunakan serat optik, dibutuhkan pula suatu sistem yang mampu untuk memadukan keunggulan dan mengurangi kekurangan dari sistem jaringan serat optik yang terdahulu. Pada sekitar tahun 1970 timbul pemikiran di kalangan para ahli bahwa kecepatan tinggi pada sistem komunikasi jarak jauh akan diakhiri dengan dominasi teknologi serat optik. Serat silica (silica fiber) dapat membawa sinyal infra merah dalam puluhan kilometer dengan rugi-rugi yang kecil. Pada panjang gelombang dengan redaman minimum, yaitu $1,55 \mu\text{m}$, rugi-rugi yang diderita adalah $0,2 \text{ dB/km}$. Dapat dibandingkan dengan kabel koaksial tembaga yang mempunyai rugi-rugi $2,5 \text{ dB/km}$ pada kecepatan modulasi sinyal 1 MHz dan lebih dari 50 dB/km pada 1 GHz . Serat Silica juga mempunyai kapasitas bandwidth $25 \text{ Terahertz (THz)}$.

Pada pertengahan tahun 80-an ketika sistem transmisi serat optik beroperasi pada $1,55 \mu\text{m}$ digunakan kecepatan 250 Mb/s . Telah dilakukan pengkajian dan penggunaan kecepatan sampai 10 Gb/s . Sejak akhir 80-an,

perkembangan teknologi tersebut dipelopori oleh erbium doped optical fiber amplifier (EDFA), dengan kemampuan memperkuat beberapa sinyal secara simultan sampai dengan bandwidth 3 THz. EDFA telah membuka pintu ke arah bandwidth lebih lebar, sehingga sistem dengan kecepatan lebih tinggi lagi direncanakan pengoperasiannya secara komersial dengan jarak jangkauan lebih dari 100 km. Proses pelebaran bandwidth di atas didukung oleh teknologi wavelength division multiplexing (WDM), sehingga kecepatan maupun kapasitasnya digandakan.

Sistem yang menggunakan kecepatan tinggi tersebut dikenal dengan sebutan super highway trunk system. Selain komponen EDFA, sistem ini juga didukung oleh sistem koheren. Dengan penggunaan sistem koheren maka dapat memperoleh selektivitas dan pengaturan yang baik pada penerima. Selain itu tidak adanya pembatasan daerah passband dari optical amplifier. Sistem heterodyne dapat digunakan pada seluruh range panjang gelombang yang ditawarkan oleh single mode optical fiber (SMF).

1.2 PERMASALAHAN

Super highway trunk system diharapkan dapat mengakomodasikan alokasi bandwidth yang lebar serta dapat digunakan untuk penyampaian informasi dengan cepat dan hasil yang baik.

Di dalam penggunaan sistem tersebut, penggunaan teknologi tertentu sangatlah diperlukan agar memperoleh hasil yang diharapkan. Karena itu perlu diketahui penggunaan suatu teknologi yang dapat lebih mengoptimalkan penggunaan bandwidth pada sistem transmisi dengan serat optik. Dengan penggunaan optic amplifier maka dapat memperlebar rentang jarak repeater

yang digunakan komunikasi jarak jauh, mengurangi jumlah repeater, bahkan tanpa menggunakan repeater. Selain itu pengembangan sistem transmisi koheren diharapkan pula mendukung dalam hal peningkatan sensitivitas penerima.

1.3 PEMBATAAN MASALAH

Pembatasan dalam tugas akhir tentang Super highway trunk system menggunakan optic amplifier dan sistem koheren ini akan dibatasi pada penggunaan optic amplifier pada sistem komunikasi dengan kecepatan tinggi dan aplikasi jarak jauh, khususnya untuk sistem komunikasi bawah laut. Sehingga dapat dicapai kecepatan yang tinggi dan rentang transmisi yang lebih jauh baik dengan pengulang maupun tanpa pengulang.

Pembahasan masalah sistem koheren pada tugas akhir ini lebih dibatasi pada sistem deteksi heterodyne, dikarenakan lebih mudah di dalam pengimplementasiannya pada penerima.

1.4 METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam melaksanakan tugas akhir ini adalah dengan melakukan studi literatur dan pengkajian mengenai hal yang berkaitan dengan sistem komunikasi serat optik, sistem komunikasi optik kecepatan tinggi serta jarak jauh, optic amplifier, dan sistem koheren pada sistem komunikasi serat optik.

Dari pengumpulan literatur dan data - data yang relevan tersebut, selanjutnya akan dikaji mengenai penggunaan optic amplifier pada sistem komunikasi jarak jauh maupun sebagai penguat untuk memperlebar rentang

pengulang. Kemudian dikaji tentang sistem koheren pada sistem transmisi serat optik dengan kecepatan tinggi agar diperoleh sensitivitas penerima yang baik untuk teknik - teknik modulasi yang berbeda.

1.5 SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Bab I : PENDAHULUAN

Merupakan bab pendahuluan yang berisikan tentang latar belakang, permasalahan, pembatasan masalah, metodologi, sistematika pembahasan, tujuan dan relevansi.

Bab II : SUPER HIGHWAY TRUNK SYSTEM

Berisi tentang sistem komunikasi serat optik dengan kecepatan tinggi yang meliputi antara lain sistem dan perangkat - perangkatnya baik dengan pengulang maupun tanpa pengulang.

Bab III : PENGGUNAAN OPTIC AMPLIFIER PADA SUPER HIGHWAY TRUNK SYSTEM

Berisi tentang sistem penguat optik EDFA, penggunaan optic amplifier dalam aplikasi jarak jauh maupun sebagai penguat atau booster, rentang pengulang dengan optic amplifier, serta penggunaan remote amplification.

Bab IV : SISTEM KOHEREN PADA SUPER HIGHWAY TRUNK SYSTEM

Berisi tentang keuntungan sistem koheren dibandingkan dengan IM/DD, optical FDM, deteksi homodyne dan heterodyne, serta teknik modulasi.

Bab V : PENUTUP

Merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dan saran.

1.6 TUJUAN

Pengerjaan tugas akhir ini bertujuan untuk mengkaji tentang penggunaan optic amplifier dan sistem koheren pada super highway trunk system yang ditujukan untuk sistem komunikasi optik dengan kecepatan yang tinggi.

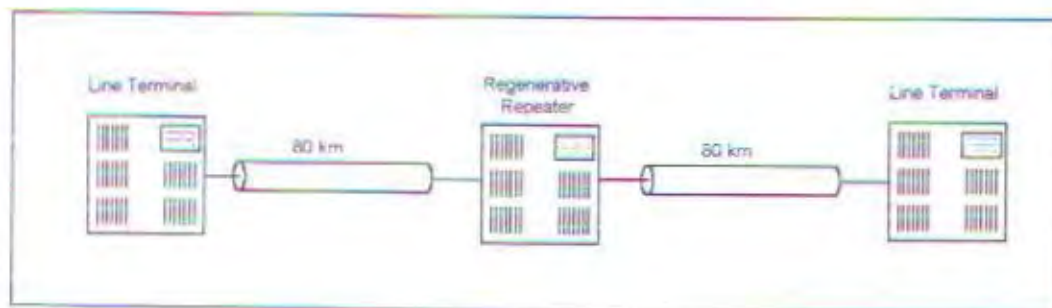
1.7 RELEVANSI

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan masukan mengenai penggunaan optic amplifier untuk memperlebar rentang transmisi dan penggunaan sistem koheren untuk memperoleh sensitivitas penerima yang baik pada sistem komunikasi optik. Sehingga dapat lebih mengefektifkan dalam hal harga dari sistem komunikasi secara keseluruhan.

Pada gambar 2.1 terlihat bahwa dari line terminal sinyal diteruskan ke linear repeater yang berfungsi untuk memperlebar jarak (spacing) jangkauan transmisi. Sinyal - sinyal yang mengalami perlakuan selama perjalanan melalui suatu media transmisi serat optik diterima oleh regenerative repeater. Sinyal - sinyal tersebut dikembalikan kembali menjadi sinyal asal untuk diteruskan ke linear repeater lagi, sampai diterima di ujung line terminal penerima. Penggunaan linear repeater yang saat ini dipelopori optical amplifier (penguat optik) menyebabkan jarak antar repeater (pengulang) semakin jauh bahkan dapat tidak menggunakan pengulang sampai jangkauan tertentu. Sebelum penggunaan linear repeater sistem transmisi dapat menggunakan regenerative repeater sebagai penghubung antar line terminal.

Dengan penggunaan regenerative repeater sebagai penguat dan pengulang sinyal sebelum ke line terminal penerima, maka dapat mengatasi jarak transmisi (spacing) antar line terminal. Untuk jarak jauh 160 km tanpa menggunakan regenerative repeater, dapat dilihat pada gambar 2.3.

Dalam sistem jaringan serat optik jarak jauh dengan kecepatan tinggi terdapat dua cara transmisi yang digunakan, yaitu terrestrial dan submarine



Gambar 2.2²
Sistem Transmisi 600 Mbit/s Dengan Repeater

² Ibid., p. 24.

(undersea) communication system. Pada aplikasi, yang sering digunakan yaitu submarine communication system (sistem komunikasi bawah laut), sedangkan terrestrial (darat) lebih banyak penggunaannya untuk komunikasi / jaringan yang berhubungan dengan pengolahan data menggunakan komputer (PC).

2.2 PERANGKAT TERMINAL

Perangkat Terminal (Terminal Equipment - TE) yang dipergunakan pada sistem memiliki kualifikasi tertentu agar dapat bekerja sesuai standar yang ditentukan. Standar Synchronous Digital Hierarchy (SDH) digunakan pada sistem ini termasuk dalam hal multiplexer dan demultiplexer. Selain itu digunakan pula Power Feed Equipment (PFE), standar operasi International Standard Unit (ITU) yang mendukung sistem interface, serta peralatan pemantauan untuk mendukung pemeliharaan dari lintasan pengulang.

2.2.1 Perangkat Sistem Dengan Pengulang

Sistem yang menggunakan pengulang ini didasarkan pada penggunaan jaringan transpor dan manajemen Synchronous Digital Hierarchy (SDH).



Gambar 2.3³
Sistem Transmisi 600 Mbit/s Jarak Jauh

³ Ibid, Loc. Cit.

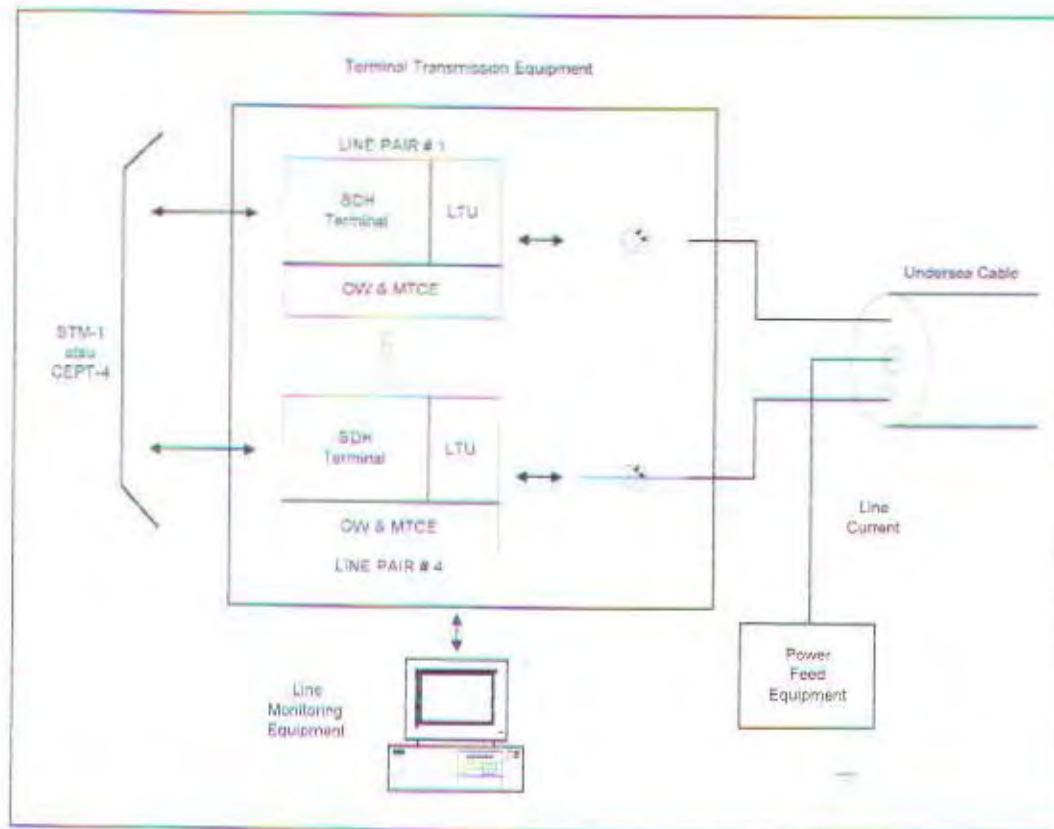
Konfigurasi yang digunakan memiliki kapasitas yang tinggi sampai 5 Gb/s untuk setiap pasang serat, di mana bila menggunakan teknik wavelength division multiplexing (WDM) akan memberikan hasil yang lebih banyak. Sistem ini mendukung konfigurasi point to point, percabangan, maupun sistem ring. Selain itu kapasitas dapat ditingkatkan sesuai dengan perkembangan. Teknologi transmisi yang digunakan pada jendela ketiga, yaitu 1550 nm dengan penggunaan penguat optik.

2.2.1.1 Terminal Station

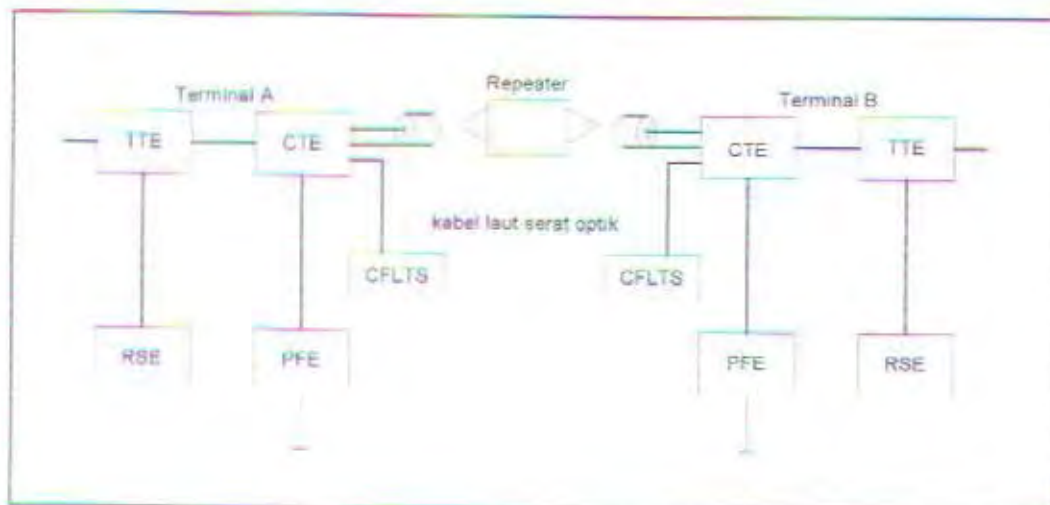
Terminal Station mencakup Terminal Transmission Equipment, Line Monitoring Equipment, Power Feed Equipment sebagai pencatu daya kabel serat optik, serta kabel serat optik bawah laut, yang dapat dilihat pada gambar 2.6. Perangkat ini merupakan pusat pengendali dari sistem di mana pengontrolan, pendeteksian dan pencatudayaan dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh dari peralatan monitoring.

2.2.1.2 Perangkat Terminal Transmisi

Perangkat Terminal Transmisi (Terminal Transmission Equipment - TTE) merupakan perangkat terminal transmisi yang diletakkan pada terminal pemancar / penerima. TTE ini menggunakan standar yang telah ditentukan baik CEPT maupun STM-1 untuk mendukung TTE kecepatan yang diinginkan. Perangkat TTE yang telah digunakan adalah untuk kecepatan 622 Mb/s, 2,5 Gb/s, dan 5 Gb/s.



Gambar 2.4⁴
Terminal Station



Gambar 2.5⁵
Konfigurasi SKKL Serat Optik Dengan Pengulang

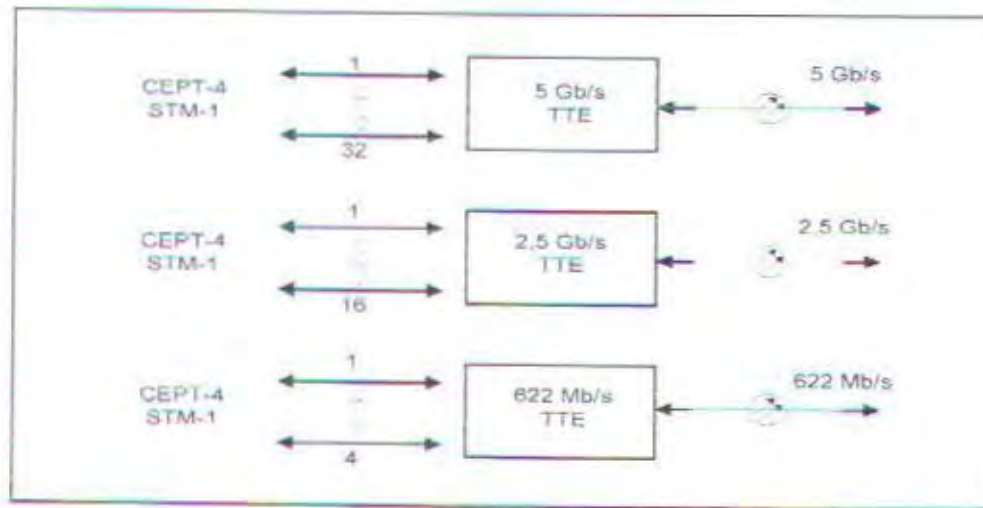
⁴ P. T. Telekomunikasi Indonesia, Technical Seminar, AT&T, July, 1995, p. 15.

⁵ AT&T, Lightwave Undersea Transmission Systems, Document Presentation, AT&T, Colorado, 1990, p. 56.

Gambaran dari TTE dapat dilihat pada gambar 2.5. Ketersediaan TTE 5 Gb/s terdiri dari 32 buah STM-1, 2,5 Gb/s terdiri dari 16 buah STM-1, sedangkan 622 Mb/s terdiri dari 4 buah STM-1. Perangkat ini memiliki fungsi untuk menghubungkan (interface) sistem darat (sistem jaringan ekor) dengan sistem kabel laut (sistem utama) yang ditempatkan pada kedua sisi stasiun terminal, yang secara khusus adalah :

- Modulasi dan demodulasi sinyal informasi yang akan dikirimkan dan diterima
- Multipleksing dan demultipleksing sinyal informasi yang akan dikirimkan dan diterima
- Konversi sinyal informasi dari bentuk sinyal digital elektrik ke sinyal digital optik dan sebaliknya
- Konversi pengkodean saluran sinyal informasi dari sistem darat ke sistem kabel laut, dan sebaliknya
- Pengendalian dan pengontrolan jarak jauh pengoperasian perangkat bawah laut, khususnya perangkat pengulang.

Perangkat pengawasan pengulang (Repeater Supervisory Equipment - RSE), berfungsi untuk mengamati dan mengontrol kondisi unjuk kerja dan karakteristik perangkat bawah laut, terutama perangkat pengulang. Operasi kerja yang dilakukan antara lain melaksanakan kontrol kesalahan apabila terjadi kesalahan pada perangkat laut. Selain itu perangkat ini juga berfungsi untuk mengawasi dan mengontrol hubungan koordinasi antara sistem komunikasi darat dengan sistem komunikasi kabel laut.



Gambar 2.6⁶
Terminal Transmission Equipment

2.2.1.3 Perangkat Terminal Kabel

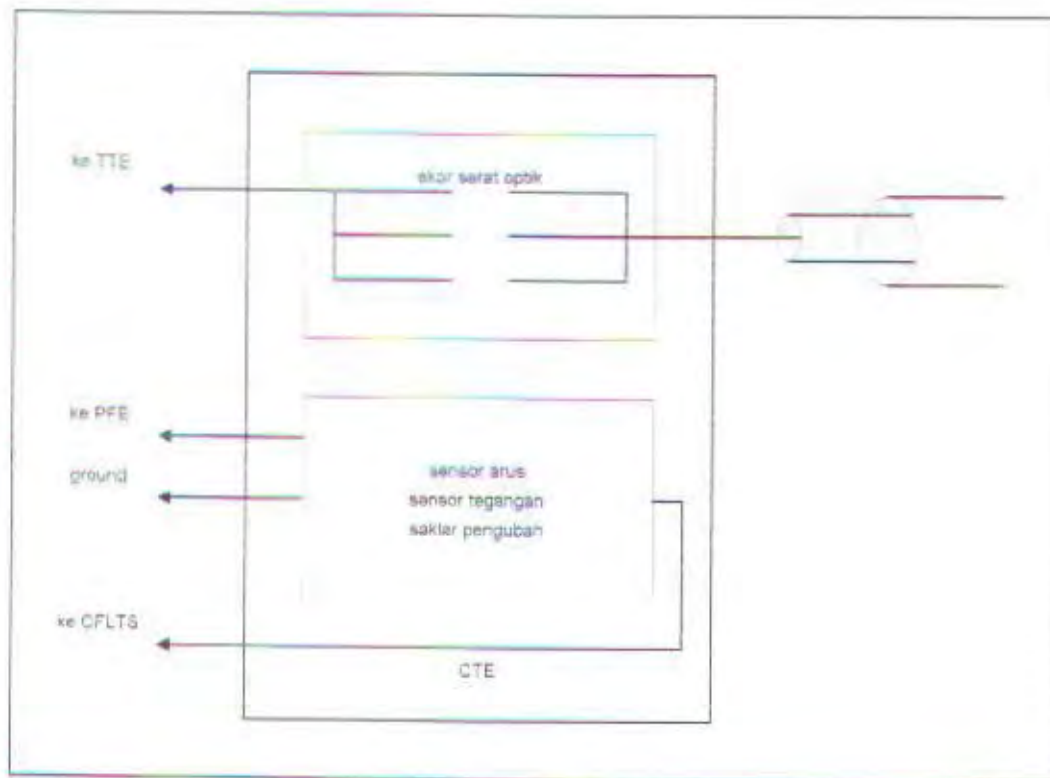
Perangkat terminal kabel atau Cable Terminating Equipment (CTE) merupakan interface antara perangkat terminal dengan perangkat bawah laut, berfungsi sebagai terminal kabel laut. Fungsi utama perangkat ini adalah sebagai perangkat pemisah kabel serat optik dengan kabel catu daya pengulang yang berasal dari kabel laut, dengan menggunakan konektor pemisah.

Kabel serat optik yang telah dipisahkan dihubungkan ke TTE dengan menggunakan konektor penyambungan optik ekor serat optik. Sedangkan kabel catu daya pengulang dihubungkan ke PFE dengan menggunakan konektor penyambungan elektrik.

Secara garis besar fungsi CTE untuk menangani konfigurasi perangkat bawah laut, antara lain sebagai berikut :

- ☒ Memisahkan kabel serat optik dengan kabel catu daya pengulang yang berasal dari kabel laut

⁶ P. T. Telekomunikasi Indonesia, Op. Cit., p. 16.



Gambar 2.7⁷
Diagram Blok CTE

- ☑ Mengawasi dan mengukur perubahan beda tegangan potensial tanah dan arus balik sistem pencatutan daya pengulang yang terjadi
- ☑ Mengawasi dan mengukur besar arus dan tegangan catu daya pengulang yang dicatu oleh perangkat PFE pada konfigurasi perangkat pengulang
- ☑ Mengawasi alarm kondisi operasional sistem abnormal dan melakukan tindakan pengamanan

Perangkat CTE dapat langsung mengambil alih tindakan koreksi kerusakan, apabila kerusakan atau gangguan yang terjadi dengan segera dapat diatasi. Misalkan apabila terjadi gangguan arus atau tegangan listrik pada sistem pencatutan daya pengulang, maka perangkat CTE segera memutuskan

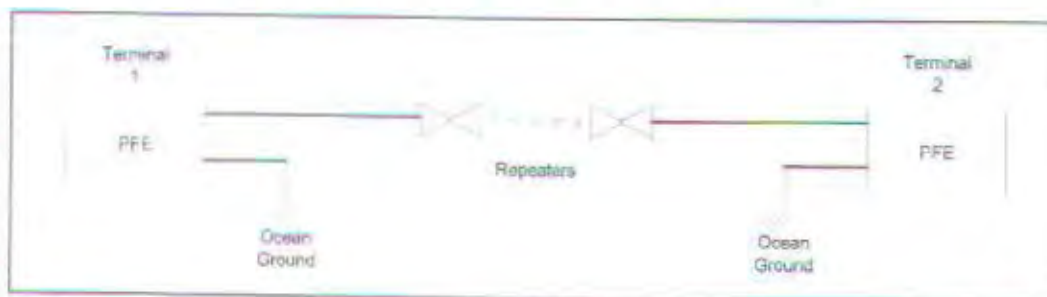
⁷ P. T. Indosat, Contract For Optical Fiber Submarine Cable System Sea Me We II S. I., Alcatel Submarcom, Jakarta, 1990, p. 45.

hubungan arus catu daya pengulang. Kerusakan atau gangguan yang disebabkan karena terputusnya kabel laut, merupakan salah satu contoh kerusakan yang tidak dapat dengan segera diatasi oleh perangkat CTE sebab membutuhkan koordinasi sistem secara keseluruhan terlebih dahulu.

2.2.1.4 Power Feed Equipment

Power Feed Equipment (PFE) merupakan perangkat yang dipergunakan untuk memberikan daya kepada Pump Laser yang terdapat pada pengulang. Pada unit yang merupakan cabang perangkat terminal ini bertugas mengontrol daya dan switching kabel serat optik. Selain itu dapat dipergunakan untuk mendukung pengecekan lokasi kegagalan kabel serat optik. Ketersediaan yang tinggi menyebabkan tingkatan daya yang berlebih serta konfigurasi Doubled Ended untuk melindungi transmisi dari kegagalan PFE.

Melalui perangkat ini setiap perangkat bawah laut dicatu daya DC melalui kabel catu daya pengulang. Kabel catu daya pengulang yang digunakan berupa lapisan selubung kawat tembaga bagian dari lapisan pelindung kabel laut.



Gambar 2.8⁸
Diagram Blok Power Feed Equipment

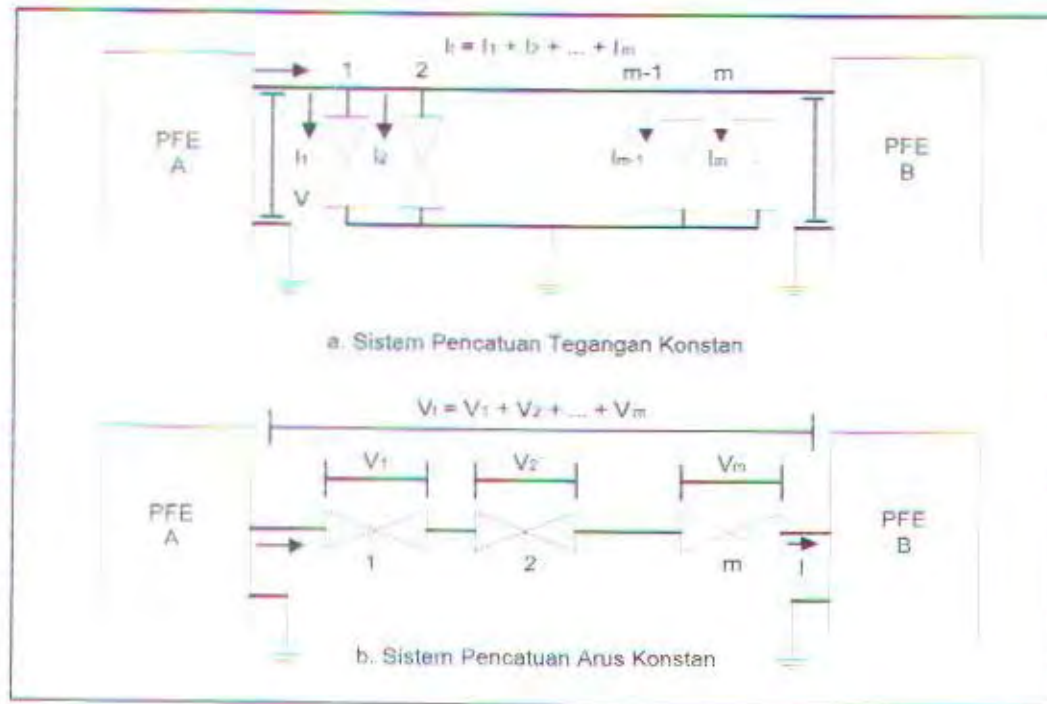
⁸ AT&T, Op. Cit., p. 22.

Konduktor arus balik sistem pencatuan daya pengulang menggunakan media air laut dan permukaan dasar laut, dengan menggunakan sistem loop back. Perangkat ini dilengkapi dengan elektroda pentanahan catu daya pengulang yang diletakkan pada daerah pantai di sekitar terminal. Hal tersebut dimaksudkan sebagai penghubung sistem pentanahan antara konfigurasi catu daya pengulang dengan permukaan dasar laut.

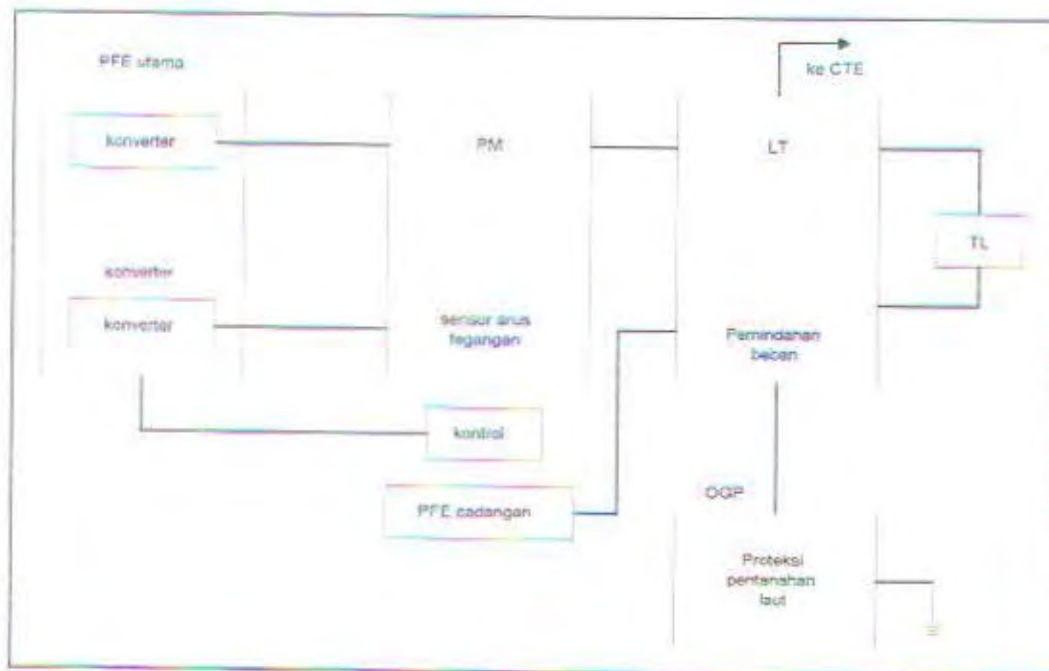
Konfigurasi sistem catu daya pengulang dapat dilakukan dengan dua metoda, yaitu pencatuan arus konstan secara seri dan pencatuan tegangan konstan secara paralel untuk setiap pengulang. Sistem catu daya pengulang arus konstan secara seri mengakibatkan total tegangan yang dibutuhkan sistem merupakan jumlah dari setiap tegangan yang dibutuhkan oleh setiap perangkat pengulang. Sedangkan sistem catu daya pengulang dengan tegangan konstan secara paralel mengakibatkan total arus yang dibutuhkan sistem merupakan jumlah setiap arus yang dibutuhkan oleh setiap perangkat pengulang.

2.2.1.4.1 Rangkaian Catu Daya Pengulang

Rangkaian catu daya pengulang dilengkapi dengan peralatan kontrol untuk mendapatkan tegangan DC yang rata, konstan serta kontinyu. Secara garis besar perangkat PFE dilengkapi dengan beberapa rangkaian pendukung, antara lain rangkaian pengatur daya, rangkaian pemantau daya, rangkaian pemindah beban dan rangkaian proteksi pentanahan laut.



Gambar 2.9⁹
Konfigurasi Sistem Catu Daya Pengulang



Gambar 2.10¹⁰
Perangkat Catu Daya Pengulang

⁹ P. T. Indosat, Op. Cit., p. 78.

¹⁰ Ibid, p. 81.

☐ Pengatur Daya

Rangkaian pengatur daya (Power Regulating - PR) berfungsi untuk mengkonversikan sumber utama DC tegangan rendah menjadi keluaran tegangan tinggi dengan menggabungkan beberapa konverter, yang dilengkapi dengan peralatan mikro komputer pengendali, di mana peralatan mikro komputer digunakan untuk memberikan pemrosesan keluaran alarm dan kendali otomatis.

☐ Pemantau Daya

Rangkaian pemantau daya atau Power Monitoring (PM) berfungsi untuk memantau arus dan tegangan catu daya pengulang yang diberikan kepada perangkat pengulang (beban). Rangkaian PM ini terdiri dari sensor arus atau tegangan, akan memantau keluaran arus atau tegangan dari pengatur daya dengan menggunakan Current Error Sensor (CES) yang mempunyai fungsi sebagai stabilisator arus.

☐ Pemindah Beban

Pemindah beban (Load Transfer - LT) merupakan saklar penyambungan yang mengubah sambungan di antara keadaan sistem pencatutan daya pengulang dalam keadaan operasi normal ke operasi darurat serta sistem uji beban. Pemindah beban ini terdiri dari 4 (empat) unit saklar penyambungan yang saling bekerja sama untuk menentukan daya.

□ Proteksi Pentanahan Laut

Proteksi pentanahan laut (Ocean Ground Protection - OGP) berfungsi untuk melindungi kabel pentanahan catu daya pengulang dari pengaruh tegangan lebih (over voltage) yang mungkin terjadi pada sistem pentanahan catu daya pengulang. Rangkaian proteksi pentanahan laut umumnya didesain mampu menangani tegangan lebih yang dapat menyebabkan putus atau rusaknya sistem pencatutan daya pengulang sampai dengan $< 20 \text{ kV}$.

2.2.1.4.2 Pentanahan Catu Daya Pengulang

Pentanahan catu daya pengulang dimaksudkan untuk menghindari kerusakan pada perangkat catu daya pengulang apabila mengalami gangguan, seperti terjadinya tegangan berlebih.

□ Kabel Pentanahan Catu Daya Pengulang

Kabel pentanahan catu daya pengulang berfungsi sebagai penghubung perangkat PFE dengan elektroda pentanahan pada setiap sisi stasiun terminal. Umumnya tipe kabel pentanahan catu daya pengulang juga terdiri dari 3 bagian utama. Pertama, bagian inti kabel pentanahan catu daya pengulang berupa kawat konduktor, yang terdiri dari 4 (empat) buah kawat tembaga dan berfungsi sebagai jalur utama arus balik catu daya pengulang. Kedua, lapisan pelindung dalam, terbuat dari bahan polyethylene. Fungsinya sebagai bahan isolator untuk menghindari kemungkinan terjadinya hubung singkat atau tegangan lebih. Ketiga, lapisan pelindung luar, terbuat dari bahan metal khusus tahan terhadap korosi air laut, berfungsi untuk melindungi kabel secara mekanis dari pengaruh lingkungan dasar laut.

❑ Elektroda Pentanahan Catu Daya Pengulang

Elektroda pentanahan digunakan sebagai jalur balik arus pencatuan daya pengulang, menghubungkan sistem pencatuan daya pengulang yang dilakukan oleh perangkat PFE dengan lingkungan dasar laut. Pada 1 (satu) sistem pencatuan daya pengulang, dibutuhkan beberapa buah elektroda pentanahan. Umumnya terdiri dari 4 (empat) buah elektroda pentanahan untuk setiap sisi stasiun terminal, setiap elektroda pentanahan dihubungkan dengan konduktor kabel pentanahan catu daya pengulang dengan menggunakan kotak penyambungan sistem pentanahan catu daya pengulang yang ditempatkan pada manhole perangkat terminal tepi pantai. Elektroda pentanahan umumnya terbuat dari bahan metal (besi) dengan lapisan khusus berupa silikon. Diameter, panjang dan jumlah kualitas elektroda pentanahan ditentukan oleh beberapa faktor antara lain resistansi permukaan dasar laut serta perkiraan umur sistem pentanahan.

Untuk mendapatkan ketahanan umur pemakaian elektroda pentanahan agar tidak mudah rusak, penempatan elektroda pentanahan diusahakan dilakukan pada daerah pantai dengan karakteristik struktur tanah yang memiliki resistansi rendah. Selain itu jarak penanaman elektroda pentanahan diatur tidak boleh berdekatan. Hal ini dilakukan untuk menghindari kemungkinan terjadinya mutual resistansi, baik antar elektroda pentanahan yang berdekatan maupun antar elektroda pentanahan dengan permukaan dasar laut.

Jumlah elektroda pentanahan yang digunakan juga dipengaruhi oleh kondisi geografis dan geologi di mana sistem kabel laut ditempatkan. Untuk daerah tertentu dengan karakteristik lingkungan alam sekitar yang tidak stabil, jumlah elektroda pentanahan yang digunakan dapat digandakan dan dilakukan pencadangan. Selain itu dalam kondisi tertentu di mana sistem pencatuan daya

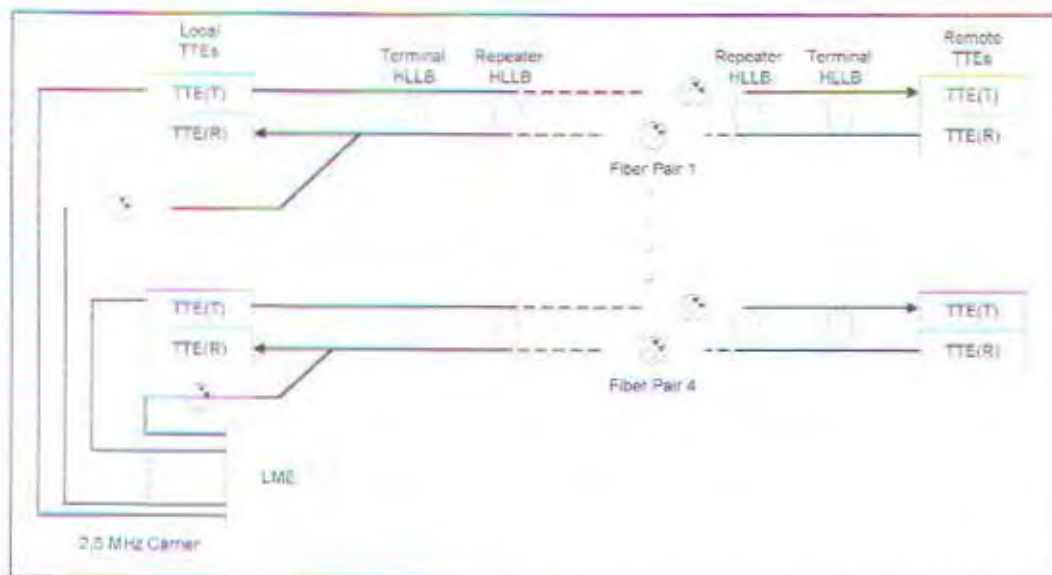
menanggung beban pencatutan daya cukup tinggi (10 kV) untuk setiap sisi terminal, elektroda pentanahan dapat dihubungkan dengan dioda zener yang digunakan sebagai fasilitas proteksi.

2.2.1.4.3 Pengamanan Catu Daya

Untuk menjaga keamanan sistem catu daya pengulang, pada setiap sisi stasiun terminal ditempatkan perangkat PFE cadangan dengan tipe dan karakteristik sama dan identik perangkat PFE utama, berfungsi sebagai sistem redundansi. Perangkat PFE cadangan berada dalam keadaan siaga dan dihubungkan dengan konfigurasi pengulang bawah laut yang akan berfungsi mengambil alih beban pencatutan daya apabila perangkat PFE utama mengalami gangguan atau kerusakan. Pemindahan beban pencatutan dari perangkat PFE utama ke perangkat PFE cadangan dilakukan secara otomatis, dikontrol oleh suatu rangkaian relay penyambungan HTS (Hot Transfer Switch) yang dihubungkan dengan suatu beban.

2.2.1.5 Line Monitoring Equipment

Perangkat ini dipergunakan untuk mengukur keadaan sistem bawah laut pada pengukuran penguatan dari amplifier, pengukuran kualitas end to end transmisi, mengoperasikan pemeliharaan baik dalam keadaan baik maupun yang membutuhkan perbaikan. Selain itu memberikan gambaran secara langsung keadaan kabel serat optik. Penggunaan pengulang loop back pada LME digunakan untuk melakukan pengukuran penguatan dari pengulang, sesuai dengan perubahan waktu.



Gambar 2.11¹¹
Line Monitoring System

2.2.1.6 Perangkat Bawah Laut

Perangkat bawah laut terdiri dari perangkat kabel laut dan perangkat pengulang. Perangkat kabel laut terdiri dari kabel catu daya pengulang pada lapisan luar dan kabel serat optik pada bagian pusat. Kabel serat optik berfungsi sebagai saluran transmisi untuk menyalurkan informasi sinyal optik yang berasal dari perangkat TTE kedua ujung sistem. Kabel catu daya pengulang berfungsi untuk melewati arus catu daya pengulang yang berasal dari perangkat PFE. Untuk melindungi kabel dari pengaruh gangguan lingkungan bawah laut, kabel dilapisi dengan lapisan pelindung khusus, dengan komposisi bahan yang berlainan untuk setiap lapisan.

Perangkat pengulang bawah laut berfungsi untuk mengkompensasi sinyal optik yang telah mengalami redaman sepanjang serat optik pada jarak tertentu.

¹¹ Ibid., p. 50.

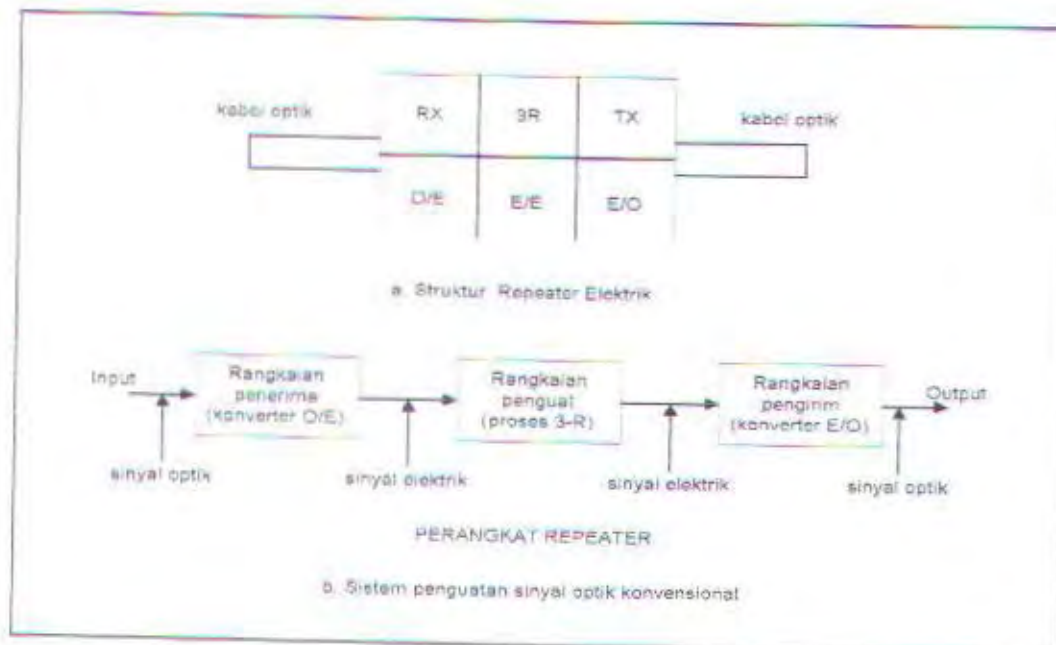
Jarak atau interval pemasangan antar perangkat pengulang ditentukan oleh redaman serat optik yang dipakai, kemampuan penguatan perangkat pengulang dan margin sistem yang diberikan. Terdapat 3 (tiga) fungsi utama yang dapat dilakukan oleh perangkat pengulang bawah laut, yaitu Reshapping, Retiming, dan Regenerating, atau 3-R.

Pada kondisi tertentu dilengkapi dengan perangkat pencabangan (Branching Unit - BU). Perangkat ini pada dasarnya sama dengan perangkat pengulang, hanya saja memiliki unit masukan keluaran lebih dari 2 (dua) titik atau bercabang. Penggunaan perangkat BU dapat dilakukan untuk menghubungkan dengan ujung - ujung sistem yang terdiri dari lebih dari 1 (satu) buah stasiun terminal. Selain itu BU mempunyai fungsi untuk mengatur daya dan aliran trafik pada ujung - ujung sistem yang terdiri dari lebih dari satu stasiun terminal.

2.2.1.7 Perangkat Pengulang

Untuk mengatasi masalah redaman transmisi yang terjadi pada sistem komunikasi serat optik, dapat dilakukan dengan menempatkan beberapa buah perangkat pengulang pada jarak interval tertentu sepanjang saluran transmisi. Interval jarak antar pengulang ditentukan oleh besarnya redaman serat optik yang digunakan. Penguatan yang dapat dilakukan perangkat pengulang serta margin sistem yang digunakan. Untuk sistem komunikasi kabel laut serat optik dengan pengulang, sistem pengulang elektriknya dapat digambarkan pada gambar berikut 2.12.

Perangkat pengulang bawah laut akan melakukan proses 3-R (Reshapping, Retiming dan Regeneration) terhadap serat optik yang telah mengalami redaman. Sinyal optik yang diterima oleh rangkaian penerima



Gambar 2.12¹²
Proses SKKL Serat Optik Dengan Pengulang

perangkat pengulang terlebih dahulu akan diubah ke dalam bentuk sinyal elektrik kemudian dilakukan proses 3-R. Setelah dilakukan proses 3-R, sinyal elektrik diubah kembali menjadi sinyal optik untuk selanjutnya dikirimkan kembali oleh rangkaian pengirim perangkat pengulang.

2.2.1.7.1 Cara Kerja Pengulang

Pada bagian transmitter, sinyal listrik yang telah diubah ke dalam kode biner, dikonversikan ke dalam sinyal optik. Sinyal optik yang dipropagasikan sepanjang serat akan mengalami redaman dan distorsi. Selanjutnya sinyal optik tersebut dikonversikan kembali dalam bentuk sinyal listrik di bagian optical receiver dan pengulang. Oleh karena itu pada bagian generator, sinyal yang diterima ini kemudian diproses melalui generator elektronik yang menguatkan

¹² J. C. Palais, Fiber Optic Communication, second Edition, Prentice Hall, New Jersey, 1988, p. 67.

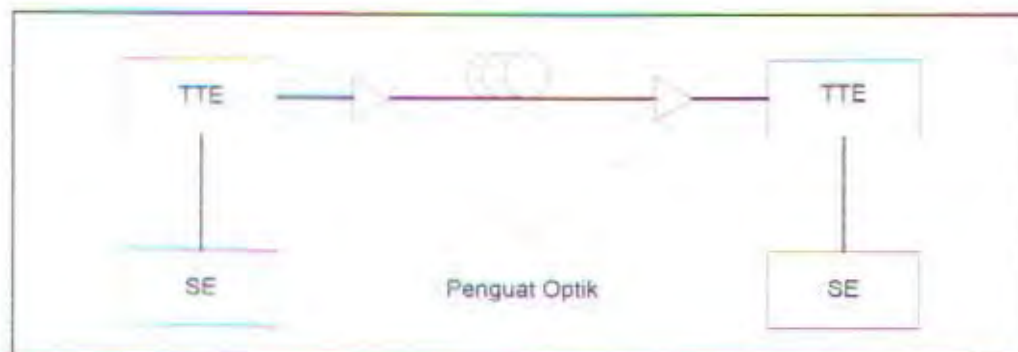
dan memperbaiki kualitas sinyal yang mengalami kemerosotan di sepanjang saluran transmisi, sehingga kualitas sistem dapat dipertahankan seperti semula. Kemudian sinyal yang telah diperbaiki ini, ditransmisikan melalui optical transmitter ke dalam serat.

2.2.2 Perangkat Sistem Tanpa Pengulang

Teknologi sistem tanpa pengulang merupakan teknologi yang menggunakan penguat optik (optical amplifier) sebagai kompensasi redaman dalam pentransmisiannya. Peletakan penguat optik di atas permukaan laut/daratan dengan menggunakan panjang gelombang 1550 nm. Terminal yang digunakan menggunakan standar transmisi darat dan penguat serat optik.

2.2.2.1 Terminal Transmission Equipment

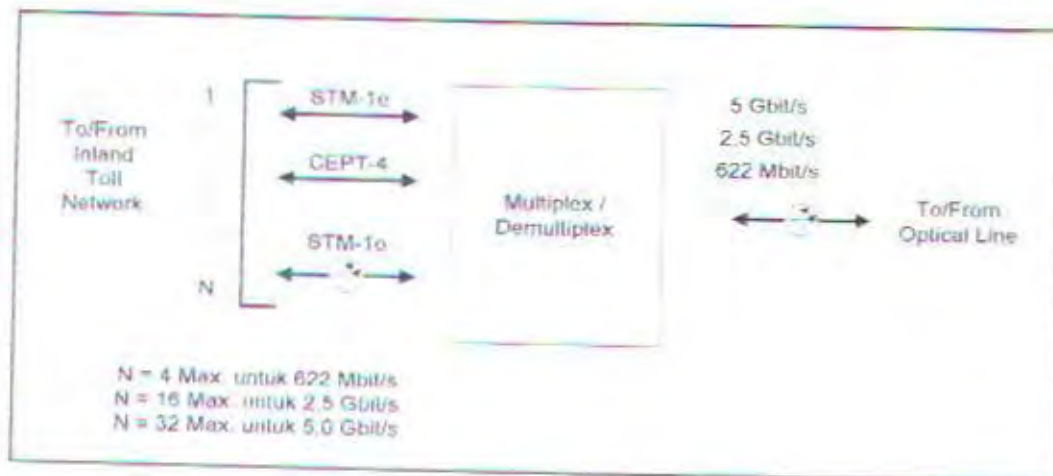
Perangkat ini dihubungkan dengan jaringan toll serat optik yang berada di darat. Standar yang digunakan sama dengan perangkat dengan pengulang yaitu CEPT dan STM. Setelah melewati multipleks maupun keluar dari demultipleks, maka diperoleh kecepatan yang tinggi untuk dilewatkan saluran optik. Perangkat



Gambar 2.13¹³

Konfigurasi Sistem Tanpa Pengulang

¹³ Elaine K. Stafford, J. Marino, M. M. Sanders, Undersea Non Repeatered Technology, Product, and Challenger, AT&T Technical Journal, January, 1995, p. 47. No.1



Gambar 2.14¹⁴
Terminal Transmission Equipment Tanpa Pengulang

ini memiliki fungsi untuk menghubungkan sistem darat dengan sistem kabel laut, ditempatkan pada kedua sisi terminal, sama dengan sistem yang menggunakan pengulang.

Pengembangan perangkat ini tidak dapat dilakukan dengan mudah tanpa didukung dengan pengembangan teknologi penunjangnya. Sumber optik laser diode distributed feedback laser (LD-DFB), detektor optik InGaAs-APD, rangkaian integrasi (IC) dengan tanggapan kecepatan tinggi (ultra high speed response IC), sistem multiplexing WDM serta sistem transmisi digital SDH. Kesemua teknologi tersebut merupakan teknologi - teknologi penunjang yang perlu dikembangkan dalam penerapannya sistem komunikasi serat optik tanpa pengulang.

2.2.2.2 Supervisory Equipment

Secara garis besar Supervisory Equipment (perangkat equipment) pada sistem tanpa pengulang ini mempunyai kesamaan dengan sistem yang

¹⁴ P. T. Telekomunikasi Indonesia, Op. Cit., p. 39.

menggunakan pengulang. Perangkat pengawasan ini berfungsi untuk mengontrol dan mengawasi unjuk kerja sistem secara keseluruhan. Selain itu perangkat ini juga digunakan untuk mengontrol koordinasi operasi kerja hubungan sistem darat dengan sistem kabel laut. Untuk memudahkan perawatan dan pengontrolan serta koordinasi secara keseluruhan, sistem pengawasan dilakukan di kedua sisi terminal.

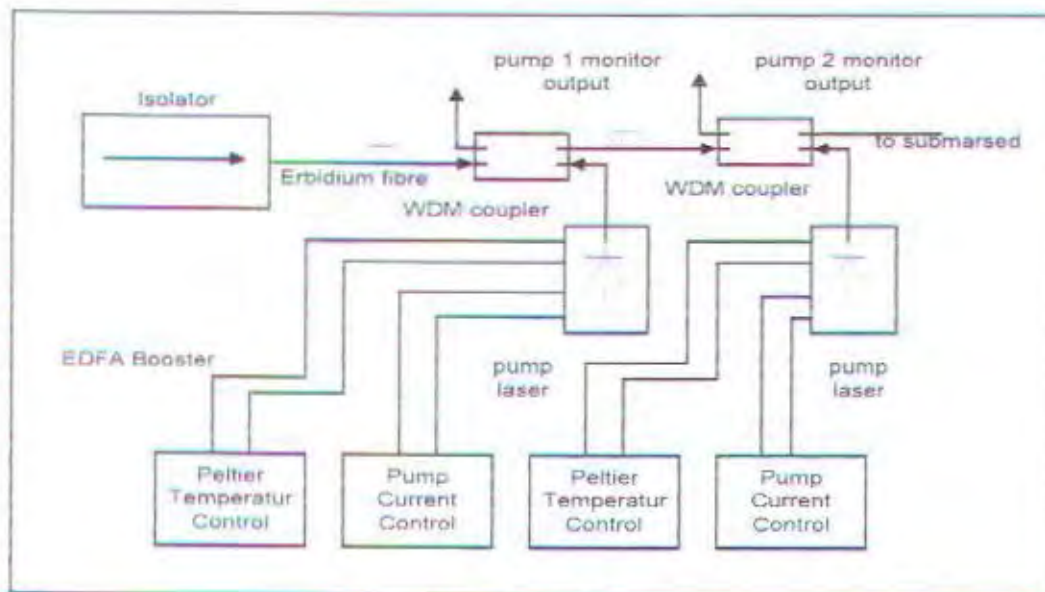
2.2.2.3 Optical Amplifier Equipment

Penggunaan penguat optik (optical amplifier) dalam sistem superhighway dimaksudkan untuk mengganti perangkat pengulang di dalam laut, dan untuk menampung kapasitas yang lebih tinggi, serta menaikkan jarak pentransmisi antar terminal. Penggunaan optical amplifier berfungsi sebagai :

- ❖ Terminal post amplifier, yang juga sering disebut dengan booster, yang berfungsi untuk menaikkan daya output pada transmitter.
- ❖ Terminal pre amplifier, yang memungkinkan untuk meningkatkan sensitifitas daya pada receiver.

2.2.2.3.1 Terminal Post Amplifier

Transmitter post amplifier pertama kali digunakan secara luas dengan menggunakan aplikasi Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA), karena untuk mengimplementasikannya sangat sederhana, di mana daya input pada post amplifier ini sangat tinggi sehingga perbandingan signal to noise ratio (SNR) tidak mengalami degradasi pada saat proses.



Gambar 2.15¹⁵
Diagram Blok Post Amplifier

Diagram blok dari post amplifier dapat dilihat pada gambar 2.15. Post amplifier membutuhkan beberapa pompa sesuai dengan daya output yang diharapkan, terlihat pada gambar dicontohkan ada dua pompa.

Sinyal optik masuk ke isolator untuk tingkat pemantulan daya input, kemudian dari isolator masuk ke WDM coupler-1 yang memiliki fungsi menginjeksi pompa pertama untuk meningkatkan daya sinyal optik yang mengandung bahan erbium. Keluaran dari sinyal optik yang dihasilkan pada WDM coupler-1 masuk ke WDM coupler-2. WDM coupler-2 ini memiliki fungsi sama dengan WDM coupler-1 yaitu menginjeksi pompa kedua untuk meningkatkan daya sinyal optik yang diinginkan, kemudian sinyal yang telah dikuatkan masuk ke sistem laut dan diharapkan sinyal optik ini dapat diterima dengan baik pada bagian terminal penerima.

Terminal post amplifier diletakkan pada bagian terminal pemancar, yang

¹⁵ Siemens, Minisub Submarine Cable Systems, Submarine Cable Technology, April, 1992, p. 23.

mempunyai fungsi untuk meningkatkan daya output pengirim untuk memaksimalkan kemampuan daya bagi jarak pentransmisian antar terminal, di mana penguatan yang utama adalah meningkatkan daya output yang tinggi pada sinyal optik itu sendiri.

Tetapi timbul suatu efek dari penyaluran ini karena daya yang disalurkan menuju ke saluran fiber adalah sangat tinggi dibandingkan dengan transmitter konvensional, sehingga akan menimbulkan efek yang disebabkan oleh non linieritas dari transmisi fiber. Efek yang pertama adalah SBS (stimulated brillouin scattering). di mana untuk saluran transmitter yang sempit, daya yang diinjeksikan dibatasi pada suatu level yang disebut ambang brillouin, di mana semua daya yang berada di atas level daya ini dipantulkan kembali menuju ke transmitter.

Efek ini dapat diminimalkan dengan melebarkan spektrum transmitter, karena ambang SBS ini dapat secara langsung tergantung pada lebar saluran transmitter, sebagai contoh dengan jalan melapisi modulasi frekuensi rendah pada laser transmitter.

Keterbatasan yang kedua post amplifier ini disebut Self Phase Modulation (modulasi fase secara otomatis, SPM). SPM ini dikarenakan oleh indeks pantulan (refraksi) fiber pada intinya. Pada sistem tanpa pengulang, transmitter post amplifier ini jaraknya relatif pendek tetapi daya optiknya sangat tinggi di atas 20 dBm.

2.2.2.3.2 Terminal Pre Amplifier

Pada post amplifier, pembatasan - pembatasan yang dihadapi disebabkan oleh akibat non linier yang tidak berkaitan secara langsung dengan

optimisasi modul amplifier. Sedangkan pada pre amplifier, pembatasannya tergantung kepada optimisasi teknologi dari desain.

Prinsip dasar dari optik pre amplifier adalah dengan memberikan penguatan sinyal optik sebelum sinyal mendapat pengaruh noise. Prinsip ini telah diterapkan sebagai contoh pada avalanche photodiode (APD). Sehingga pada optical pre amplifier ini sinyal akan dikuatkan secara optik sebelum terjadi photodeteksi. Untuk memperoleh karakteristik operasi yang diinginkan maka ada beberapa kondisi yang harus dipenuhi, yaitu penempatan filter optik sebelum terjadi photo diode.

Perbaikan sensitifitas penerima yang diberikan oleh sebuah pre amplifier optik berkisar antara 5 sampai 10 dB, tergantung pada panjang gelombang pemompaan (980 nm atau 1480 nm) dan suhu dari lingkungan sekitar penerima APD baseline kurang teroptimalisasi dalam hal noise thermal.

Terminal pre amplifier secara efektif meningkatkan sensitifitas pada terminal penerima dan menghindarkan kesalahan unjuk kerja dari bermacam - macam level atas daya penerima. Pre amplifier memiliki karakteristik tersendiri yaitu mempunyai noise yang rendah dan penguatan sinyal optik yang tinggi, yang merupakan salah satu syarat aspek desain pre amplifier yang banyak diterapkan.

Rangkaianya terdiri dari satu pemompa yang masuk ke WDM coupler yang berfungsi menginjeksi laser dengan bahan erbium, dari WDM coupler sinyal input yang telah dikuatkan dengan bahan erbium tersebut masuk ke isolator kemudian masuk ke tuneable fabry perot filter untuk diteruskan WDM coupler yang berfungsi untuk mengontrol penguatan noise yang tidak begitu besar (yang sebelumnya melalui proses PIN diode masuk ke low noise amplifier (LNA) dan filter control dengan sistem umpan balik). Dari proses penguatan sinyal ini

diharapkan penguatan yang terjadi adalah penguatan sinyal optik itu sendiri, mengenai penguatan noisenya diharapkan tidak begitu besar.

2.2.2.4 Undersea Equipment

Sistem tanpa pengulang ini hanya memiliki perangkat kabel laut serat optik saja, tidak memiliki komponen lain (tidak memiliki komponen elektrik di dalam laut, seperti pengulang). Perangkat ini memiliki karakteristik mekanik yang sama dengan sistem yang menggunakan pengulang. Karakteristik tersebut memiliki desain sedemikian rupa sehingga dapat melindungi unit serat optik dari gangguan peregangan kabel, tekanan hidrostatik air laut yang cukup besar selama kondisi kabel terpasang dan agregasi yang disebabkan oleh faktor eksternal.

Serat optik yang digunakan juga menggunakan jenis single mode, karena jenis serat optik ini memiliki keunggulan redaman transmisi yang rendah dan dispersi minimum pada kawasan panjang gelombang optimum. Panjang gelombang yang digunakan pada serat optik menggunakan panjang gelombang 1550 nm. Ciri utama sistem tanpa pengulang ini adalah tidak mempunyai karakteristik elektrik di dalam laut dan karena tidak menggunakan pengulang maka kabel serat optik tidak memiliki lapisan selubung konduktor catu daya pengulang.

2.2.2.5 Pencabangan Pasif

Pencabangan atas serat optik pada sistem tanpa pengulang ini memiliki keistimewaan tersendiri, karena tidak terdapatnya perangkat pengulang, sehingga tidak terdapat perangkat elektrik. Bila dilakukan pencabangan pada

tengah saluran, maka digunakan pencabangan pasif, di mana lokasinya dalam branching unit (BU). Pencabangan pasif ini tidak lagi menggunakan pembagian catu daya pengulang pada masing - masing terminal cabang, sebagaimana pada sistem dengan pengulang, tetapi penguatan optiknya dicatu oleh masing - masing terminal cabang. Dengan demikian kemampuan komunikasi jaringan sistem komunikasi kabel laut serat optik tanpa pengulang menjadi lebih fleksibel dan mudah dilakukan pengembangan lebih lanjut.

2.3 Synchronous Digital Hierarchy

Synchronous Digital Hierarchy (SDH) merupakan sistem transmisi digital yang menggunakan multipleks sinkron. Sistem SDH juga dipersiapkan untuk menghadapi perubahan dari jaringan pita sempit (narrow band) menuju sistem jaringan pita lebar (broad band) di masa mendatang sehingga dapat mendukung teknologi Asynchronous Transfer Mode (ATM). Penggunaan sistem SDH pada super highway trunk system, selain untuk meningkatkan kualitas, keandalan dan kapasitas jaringan, sistem SDH juga dimaksudkan untuk memperbaiki sistem manajemen jaringan.

2.3.1 Prinsip Dasar

Pada sistem SDH aliran data dengan kapasitas yang berbeda dari 1.544 Mb/s hingga 139, 264 Mb/s (sesuai dengan rekomendasi CCITT G. 702) dipetakan dalam container sesuai dengan kapasitasnya. Kemudian pada setiap container tersebut ditambahkan sistem informasi yang disebut overhead. Container yang telah dilengkapi dengan overhead ini dinamakan Virtual Container (VC). Beberapa VC yang berukuran kecil kemudian dipetakan lagi pada container yang lebih besar dan selanjutnya ditambahkan lagi suatu

overhead. Virtual container tertinggi adalah level 4 (VC - 4). Setelah dilengkapi overhead lainnya, maka dipetakan atau ditempatkan pada sebuah lapisan transpor yang memiliki bit rate 155.520 Mb/s, yaitu yang disebut dengan Synchronous Transfer Mode Level 1 (STM-1). Untuk membentuk level - level yang lebih tinggi maka dilakukan multipleksing byte per byte beberapa sinyal STM-1.

2.3.2 Elemen - Elemen Multipleksing

Pada proses multipleksing, container dan VC merupakan elemen - elemen yang terkait dengan proses tersebut. Container (C-n) merupakan sebuah unit dari payload yang berfungsi membawa informasi dari level Plesyochronous Digital Hierarchy (PDH) yang direkomendasikan dalam G702. Container dalam elemen multipleksing dikategorikan sebagai C1, C2, C3 dan C4.

Virtual container (VC-n) berfungsi memberikan hubungan antara path section layer dalam transmisi sinkron. VC terdiri dari payload yang membawa informasi data dan path overhead (POH). Bagian payload dapat disamakan dengan sebuah container dan seluruh frame VC berulang setiap 125 μ s atau 500 μ s.

VC dibagi dua, yaitu :

1. Lower order / Basic VC, VC-n (n=1,2)

Terdiri dari container C-n (n=1,2) ditambah VC POH yang sesuai dengan level VC.

2. High Order VC, C-n (n=3,4)

Terdiri dari sebuah C-n (n=3,4) Tributary Unit Group (TUG-2) atau sebuah Tributary Unit (TU-3).

❑ Tributary Unit (TU-n)

Tributary Unit adalah struktur informasi yang memberikan adaptasi antara lower order VC dan high order VC. TU terdiri atas sebuah lower order VC dan sebuah TU pointer yang menunjukkan fase dari awal frame lower order VC terhadap awal frame high order VC. Proses ini disebut alligning.

❑ Tributary Unit Group (TUG-n)

TUG-n terdiri atas kumpulan TU-1 dan sebuah TU-2. Ada 2 klasifikasi TUG, yaitu TUG-2 dan TUG-3. TUG-2 dibentuk oleh masukan serba sama dari TU-1 / mapping langsung dari sebuah TU-2. Sedangkan TUG-3 mendapat masukan dari TU-2 / sebuah TU-3.

❑ Administrative Unit (AU-n)

Administrative unit merupakan sebuah struktur informasi yang menyediakan adaptasi antara sebuah payload (high order VC) dan sebuah STM-n. AU terdiri atas sebuah high order VC dan AU pointer yang menunjukkan fase dari posisi awal frame high order VC relatif terhadap posisi awal frame STM-n. AU-4 terdiri atas sebuah VC-4 dan AU pointer, sedangkan AU-3 terdiri atas sebuah VC-3 dan AU pointer.

❑ Administrative Unit Group (AUG)

Satu atau lebih AU mengambil lokasi yang tetap pada payload STM. Sebuah AUG dapat terdiri atas 3 AU-3 atau sebuah AU-4 yang menempati lokasi yang tetap pada sebuah payload STM.

❑ Synchronous Transfer Module (STM)

Prosedur multiplex SDH bersifat sinkron yang mana setiap tributary sinyal diakomodasi oleh struktur frame tersendiri sehingga setiap sinyal tunggal dapat diidentifikasi serta diekstrak segera setelah frame tersebut diketahui. Format frame tersebut mempunyai durasi 125 μ s dan disebut Synchronous Transfer Module - N (STM-N), di man N sebagai hirarki. Hirarki pertama dari standar SDH adalah 155,520 Mb/s (STM-1) dan selanjutnya adalah 620 Mb/s (STM-4) dan 2,5 Gb/s (STM-16).

2.3.3 Struktur Frame SDH

Struktur frame dasar dari STM-1 dapat dinyatakan sebagai susunan byte dari 9 baris 270 kolom. Panjang frame 125 μ s. Baris 1 sampai dengan baris 9 pada 9 kolom pertama merupakan SOH kecuali baris ke-4 sebagai AU pointer. Sedangkan sisanya 261 kolom dari 9 baris digunakan sebagai kapasitas payload di mana VC-4 / 3VC-3 dimultipleks. Semua struktur frame dari sdh, seperti STM, VC, TU, menggunakan struktur 9 baris. Dengan menggunakan struktur 9 baris, maka sinyal 2 Mbps dan 1,5 Mbps dapat disusun dalam setiap frame.

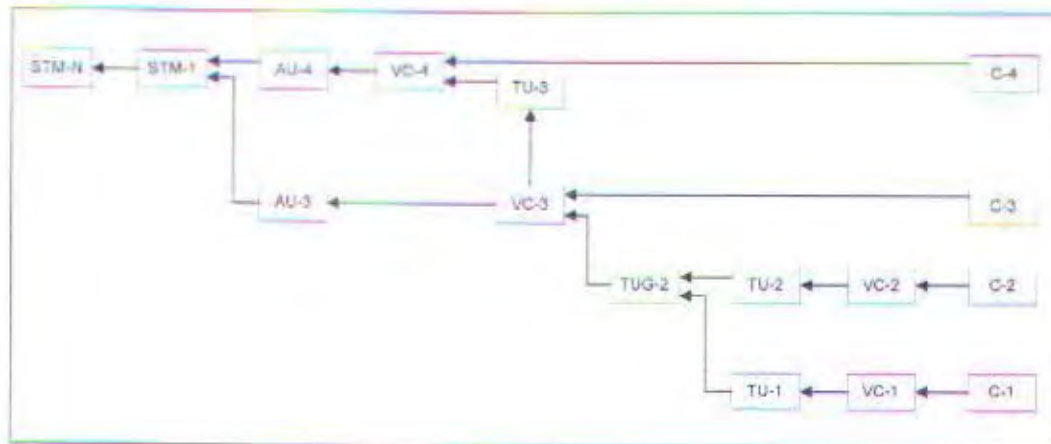
Struktur frame STM-1 terdiri dari :

- ✦ STM-1 Payload
- ✦ AU pointer
- ✦ Section Overhead

➤ STM-1 Payload

Payload dari STM-1 digunakan untuk membawa sinyal VC-4 / 3VC-3. Muatan dari VC-4 (VC-3) pada payload STM-1 adalah dalam mode floating

(mengapung) dengan pointer menunjukkan byte pertama dari payload. Payload STM-1 terdiri atas 9 baris x 261 kolom (byte). Setiap 3 unit dari payload diberikan sebuah alamat, sehingga dibutuhkan 783 alamat.



Gambar 2.16¹⁶
Struktur Multiplexing Umum



Gambar 2.17¹⁷
Struktur Frame STM-1

¹⁶ CCITT, Rec. G702, Melbourne, 1988, p. 110.

¹⁷ Ibid, p. 114.

> AU Pointer

Baris ke-4 dari kolom 1-9 digunakan sebagai AU pointer. AU pointer terdiri atas 3 kali H_1 , H_2 , dan H_3 . Dari 24 bit untuk 3 byte H_1 , H_2 , dan H_3 hanya 10 bit yang diperlukan untuk menunjukkan alamat dari 0 sampai 782 dan sisanya 14 bit digunakan untuk fungsi - fungsi lain.

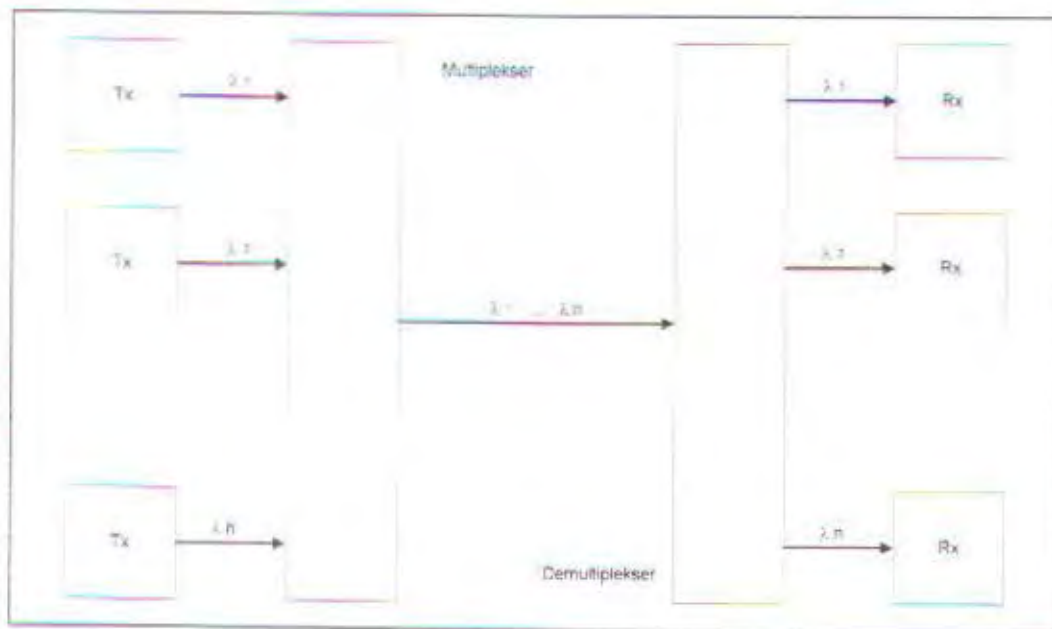
> Section Over Head

Baris 1-9 dari kolom 1-9 kecuali baris 4 digunakan sebagai SOH. Jadi ada 2 bagian, yaitu bagian RSOH dan bagian MSOH. RSOH digunakan untuk menaikkan ke tahanan transmisi antara regenerator dengan regenerator. Tiap - tiap regenerator hanya memperhatikan bagian RSOH. Sedangkan bagian MSOH digunakan untuk membawa informasi yang akan diperlukan untuk proses multiplexing dan demultiplexing.

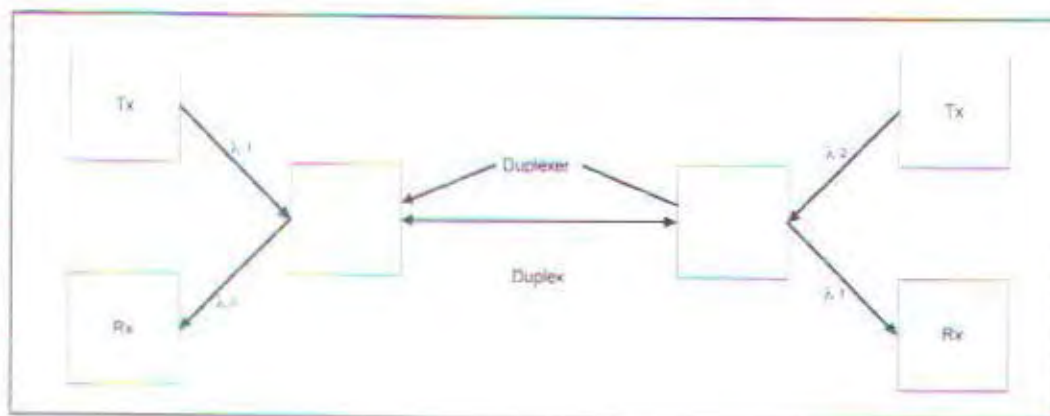
2.4 Wavelength Division Multiplexing

Wavelength division multiplexing (WDM) merupakan proses penggabungan beberapa panjang gelombang dari sumber berbeda yang ditransmisikan dalam sebuah serat.

Pada terminal penerima, demultiplexer optik memisahkan carrier - carrier optik yang berbeda panjang gelombangnya sebelum dilakukan pendeteksian oleh photodetector. WDM dapat juga digunakan untuk komunikasi full duplex, di mana pada masing - masing terminal harus ditempatkan multiplexer dan demultiplexer. Penggunaan WDM untuk komunikasi full duplex dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.18¹⁸
Wavelength Division Multiplexing



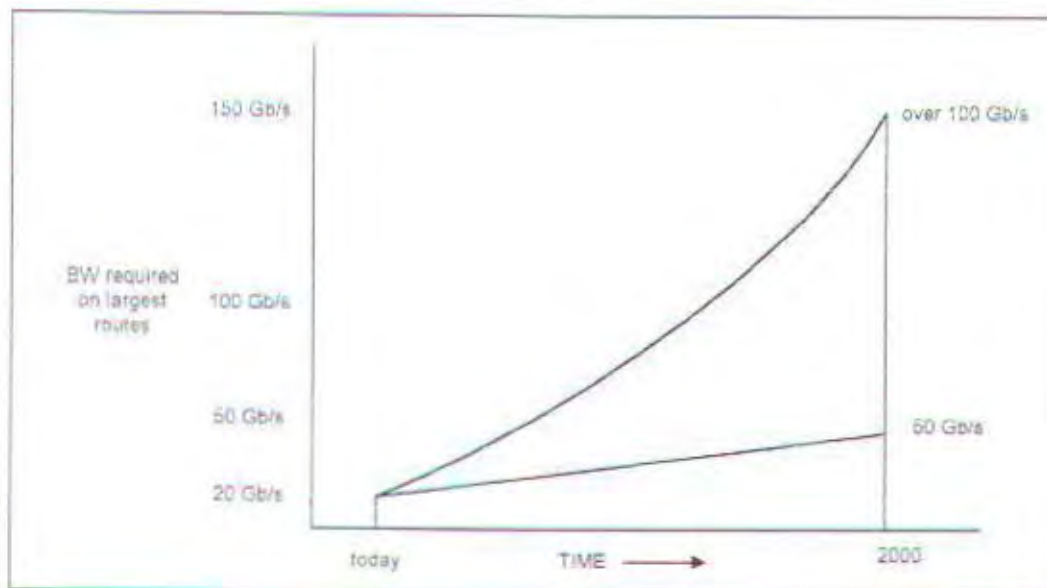
Gambar 2.19¹⁹
Full Duplex Wavelength Division Multiplexing

Dengan teknik WDM kapasitas transmisi dari saluran serat optik dapat ditingkatkan. Peningkatan kapasitas bandwidth yang diinginkan sesuai dengan

¹⁸ Frederick C. Allard, Fiber Optics Handbook for Engineering and Scientists, McGraw-Hill, Inc. Singapore, 1990, p. 5.30.

¹⁹ Ibid., Loc. Cit.

kecepatan tinggi dapat dilihat pada gambar 2.20. Sinyal dari beberapa pemancar optik, masing - masing yang dipancarkan dengan panjang gelombang yang berbeda, dikombinasikan dengan peralatan yang disebut wavelength division multiplekser dan ditransmisikan melalui single fiber. Pada sisi penerima, sinyal optik dipisahkan sesuai dengan panjang gelombangnya dengan wavelength division multiplekser dan diteruskan pada penerima. Pada sisi lain, WDM memungkinkan untuk transmisi dua arah melalui fiber yang sama dengan panjang gelombang berbeda. Masing - masing peralatan WDM kemudian mengkombinasikan sejumlah besar panjang gelombang untuk transmisi pada fiber dan memisahkan panjang gelombang yang diterima.



Gambar 2.20²⁰
Perbandingan Kapasitas dengan Waktu

²⁰ C. Kelly, Greg May, Peter Roorda, D. Barriskill, WDM Technologies in Telecommunications, May 9, 1995, p. 4.

Peralatan WDM memiliki beberapa karakteristik penting yang membedakan dengan teknik modulasi lain, antara lain :

- ✦ Wavelength multiplexer terdiri dari komponen pasif, tidak terdapat daya elektrik
- ✦ Wavelength multiplexer dapat berfungsi sebagai multiplexing dan demultiplexing
- ✦ Chanel WDM tidak tergantung satu sama lain
- ✦ Chanel WDM jelas dalam hal format data

Pada tabel 2.1 terlihat kelas komponen WDM yang berbeda, di mana dalam aplikasi lebih banyak menggunakan dua peralatan chanel, yaitu directional coupler dan filter Dielectric Thin Film (DTF), yang memultipleks sinyal pada panjang gelombang 1,3 nm dan pada 1,5 nm (atau pada 850 nm dan pada 1,3 nm).

Tabel 2.1²¹
Teknologi WDM

Channel Spacing (nm)	100	10	1	0.1
Terminology	<p>... Coarse WDM ...</p>	<p>... Dense WDM ...</p>		<p>... Optical FDM ...</p>
Multiplexer Technology	<p>... Couplers or DTF filters ...</p>	<p>... Diffraction Gratings ...</p>		<p>... Guided Wave Interferometry ...</p>

²¹ Stuart S. Wagner, Haim Kobrinski, WDM Applications in Broadband Telecommunication Networks, IEEE Communications Magazine, March 1989, p. 22

BAB III

PENGGUNAAN OPTIC AMPLIFIER PADA SUPER HIGHWAY TRUNK SYSTEM

3.1 UMUM

Serat optik yang dapat mentransportasikan sinyal pada industri telekomunikasi dapat membawa sejumlah besar informasi antara terminal yang terpisah. Meskipun serat optik digunakan secara tepat karena rugi - rugi transmisi yang dimilikinya rendah, pembentukan kembali tetap dibutuhkan sebagai kompensasi rugi - rugi transmisi dan splitting. Pada sistem saat ini dibutuhkan regenerator opto elektronik, di mana photo detektor melakukan konversi sinyal optik yang mengalami atenuasi menjadi sinyal elektrik. Selanjutnya dibentuk kembali dan diperkuat oleh rangkaian elektronik kecepatan tinggi. Akhirnya, laser mentransmisikan sinyal optik yang telah diregenerasikan. Erbium doped fiber amplifier (EDFA) pada sisi yang lain, secara langsung memperkuat sinyal optik dan menjanjikan perubahan komunikasi sinyal optik.

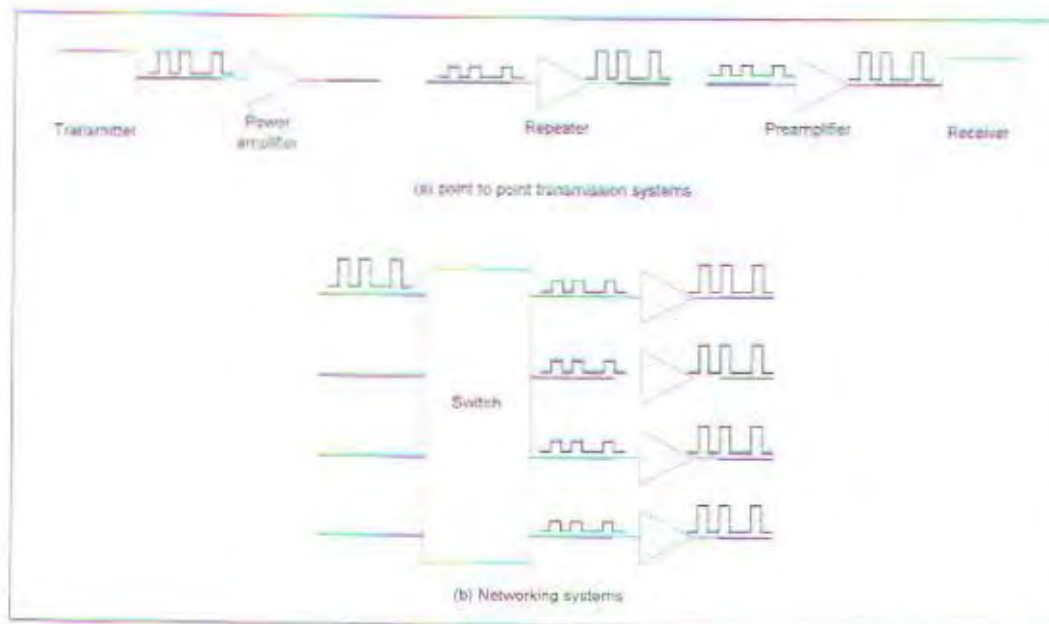
EDFA pertama kali diperkenalkan pada 1987, menjadi berkembang karena sangat diharapkan dapat menggantikan pengulang opto elektronik dalam banyak aplikasi. Sebenarnya terdapat beberapa tipe optic amplifier (penguat optik) yang ada, antara lain SLAs (Semiconductor Laser Amplifiers), PDFAs (Praseodymium Doped Fiber Amplifiers), DDFAs (Dymium Doped Fiber Amplifiers), EDFAs (Erbium Doped Fiber Amplifiers), penguat fiber Raman dan penguat fiber Brillouin.

Penguat yang paling banyak dipakai pada komunikasi serat optik adalah jenis EDFA, karena penguat optik ini memiliki beberapa keuntungan daripada penguat optik yang lainnya. EDFA merupakan penguat yang kompatibel karena tahan terhadap efek polarisasi dan terhadap crosstalk antar kanal multi panjang gelombang. EDFA memberikan revolusi teknologi gelombang cahaya dengan kerugian sistem rendah, fleksibilitas yang besar dan kehandalan jaringan yang tinggi. Di samping itu memiliki gain tinggi (40 dB), daya output tinggi (100 mW), pendekatan noise ideal, serta tidak terdapat hubungan paralel seperti penguat lainnya. Aplikasi EDFA pada sistem komunikasi kabel laut serat optik sebagai :

- ✧ Penguat daya : ditempatkan di tengah laut, yang berfungsi sebagai pengulang optik sehingga akan mengganti rugi transmisi dan splitting
- ✧ Pre amplifier : ditempatkan pada peralatan penerima, yang akan mempertinggi sensitivitas penerima
- ✧ Post amplifier : ditempatkan pada pemancar, yang akan menambah daya sinyal sehingga jarak jangkauan lebih panjang.

3.2 SISTEM PENGUAT EDFA

EDFA terdiri dari serat optik yang intinya didoping (disisipi) dengan bahan erbium kurang dari 0,1 %. Ion - ion erbium dipompa ke level energi yang lebih tinggi dengan jalan penyerapan sinar dari sumber pompa. Peralihan menuju ke keadaan netral, dilakukan dengan jalan memancarkan foton dan atau secara spontan dirangsang oleh kehadiran foton yang memiliki energi netral. Sinyal foton pada EDFA akan merangsang untuk mengurangi erbium - erbium tereksitasi yang berguna untuk menguatkan sinyal. Waktu hidup dari keadaan tereksitasi



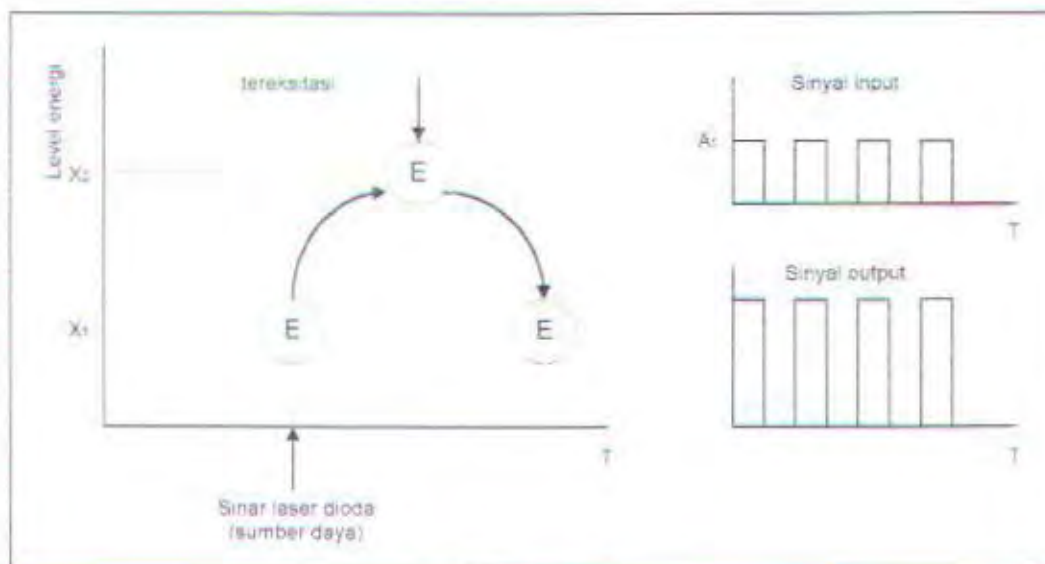
Gambar 3.1¹
Aplikasi Penguat Optik

kira - kira 10 ms, selain itu juga memancarkan noise.

Pada gambar 3.2, Erbium mengalami 3 (tiga) kejadian :

- ❶ Erbium dalam keadaan normal memiliki energi X_1 . Kemudian ditembak suatu sumber sinar, contohnya sinar laser diode. Pada keadaan ini sinyal input pada saluran serat beramplitudo A_1 .
- ❷ Erbium akan tereksitasi dan level energi meningkat menjadi X_2 di mana $X_2 > X_1$. Keadaan tereksitasi dari erbium ini akan tidak stabil karena erbium cenderung menuju ke keadaan awal, yaitu X_1 .
- ❸ Sesuai dengan hukum kekekalan energi, maka ion erbium kembali ke keadaan semula, dan energi yang dilepaskan erbium ini sebesar $X_2 - X_1$ akan

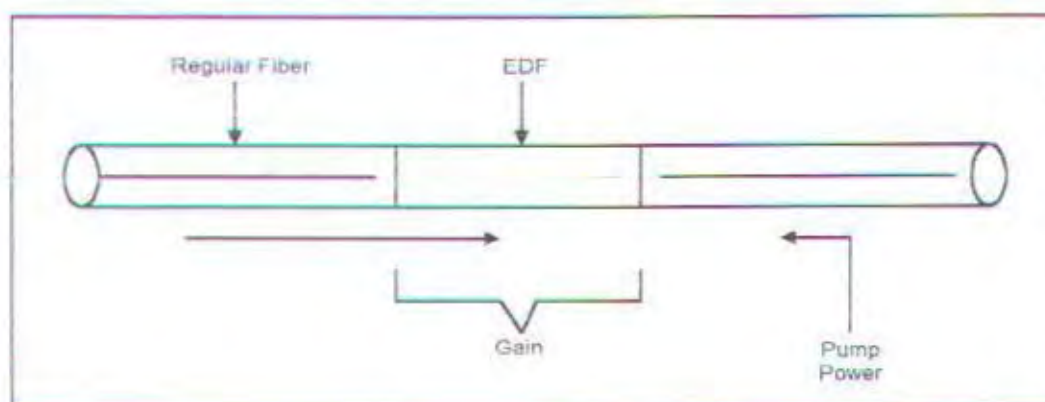
¹ John L. Zyskind, C. Randy Giles, Jay R. Simpson, David J. DiGiovanni, Erbium - doped fibre amplifier technology, Trends in Telecommunications, Vol. 8 No. 3, p. 37.



Gambar 3.2²
Penguatan Ion Erbium Pada Saluran Fiber

dipergunakan untuk penguatan sinyal data tersebut. Pada keadaan sinyal output dari saluran amplitudonya menjadi A_2 .

Fiber erbium sangat kompatibel dengan fiber konvensional, dan dapat merupakan gabungan dari komponen lainnya. Pompa cahaya bergabung dengan sinyal - sinyal datang dengan sistem WDM. Pompa cahaya yang



Gambar 3.3³
Sistem Penguat EDFA

² Paul M. Gabla, Optical Amplification : The Seed for Expansion of Submarine Cable Network, Alcatel Submarine Network, Hawaii USA, 22-26 January 1995.

³ P. T Telekomunikasi Indonesia, Repeaterd Systems, AT&T Submarine Systems, Inc, 1995.

menyebarkan cahayanya sepanjang erbium dihentikan karena ion - ion erbium sudah menuju eksitasi. Karena sinyal input sudah menyebar dalam Erbium Doped Fibre (EDF), maka sinyal ini akan merangsang agar EDF memancarkan cahaya, maka sinyal - sinyal diberi energi, sehingga menguatkan daya.

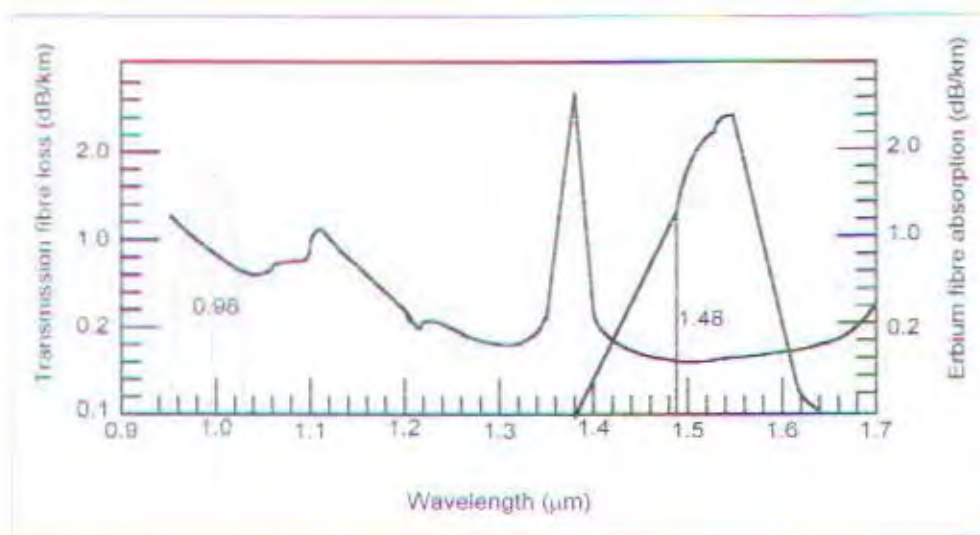
Komponen utama pada penguat optik ada tiga, masing - masing erbium doped fiber yang memberikan penguatan optik, laser diode yang memberikan sumber tenaga optik, dan Wave Division Multiplexer sebagai penghubung tenaga ke penguat. Fungsi isolator adalah sebagai penurun noise dan isolasi dari pemantulan, sedangkan filter berfungsi untuk menghasilkan sinyal dengan frekuensi yang diinginkan dan bukan sinyal noise.

Pada saat pompa diinjeksikan dalam jumlah besar, sinyal belum bangkit, tetapi pada waktu sinyal bangkit daya pompa akan menurun bersamaan dengan sinyal input, sebab terjadi saturasi photon dari ion erbium.

3.2.1 Gain

Gain, daya output dan noise penguat merupakan karakteristik penting dari EDFA yang digunakan sebagai sistem komunikasi serat optik. Daya pompa yang diperlukan untuk mencapai penguatan tinggi merupakan kunci pokok di dalam EDFA, di mana pada panjang gelombang 1530 nm dan 1550 nm menunjukkan gain yang berbeda dengan daya pompa yang sama.

Penguat optik pada dasarnya akan menurunkan gain sinyal input karena adanya noise yang dikuatkan, di mana penguatan noise akan tampak jelas bila penguat kita mengalami keadaan saturasi. Saturasi terjadi karena sinyal input



Gambar 3.4⁴
Perbandingan Rugi - Rugi Dari Transmisi Dan Absorpsi EDFA

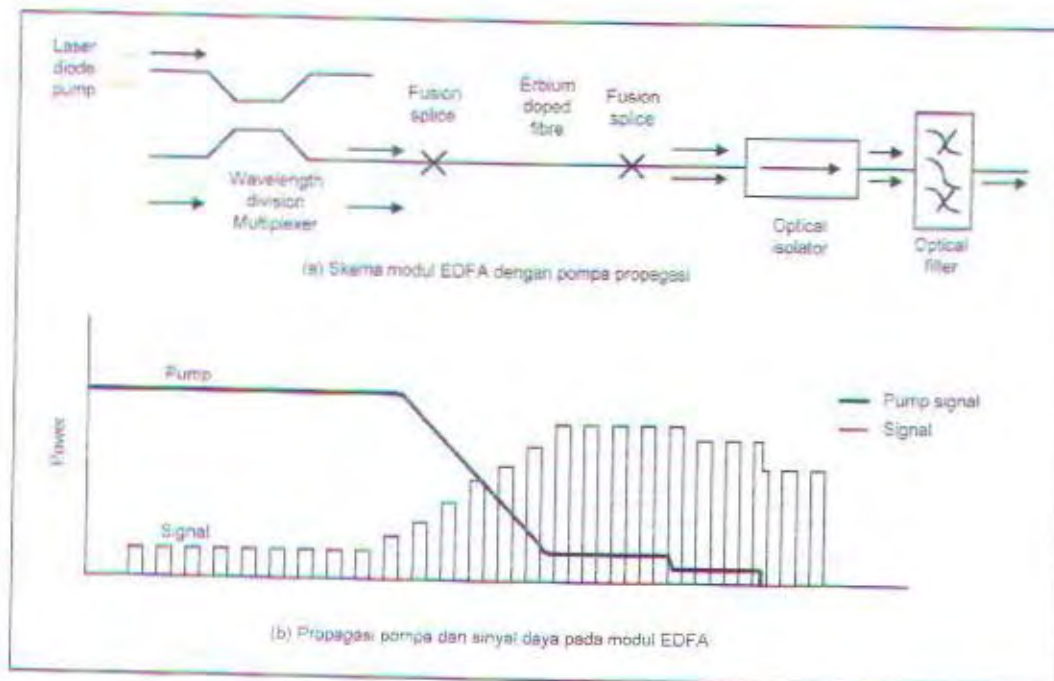
power yang besar, sehingga akan merangsang lebih banyak emisi photon daripada EDF, dengan demikian keberadaan dari ion erbium yang tereksitasi sedikit jumlahnya, dari keadaan ini akan menurunkan daya penguatan dari EDFA.

Serat optik yang mengalami proses doping, bila semakin besar daya pompa yang masuk, maka menyebabkan efek samping yang lain, yaitu selain merangsang emisi cahaya yang berfungsi sebagai penguat, juga menghasilkan photon - photon yang mengakibatkan semakin sedikitnya jumlah erbium yang tereksitasi. Sebagai konsekuensinya semakin sedikit jumlah ion erbium yang tereksitasi, sehingga semakin menurun sifat dari EDFA.

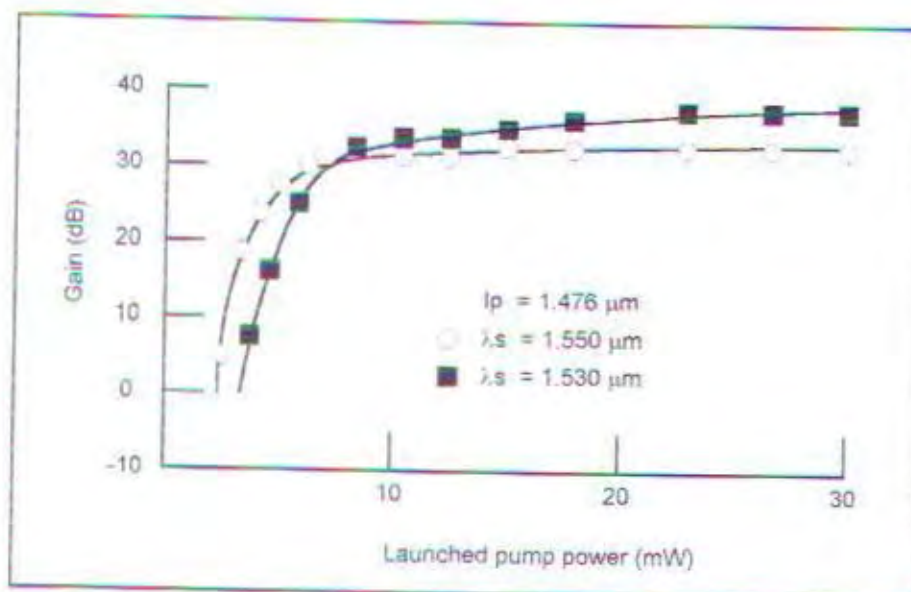
3.2.2 Noise

Penguatan pada suatu EDFA dihasilkan dari ion erbium dalam fiber yang tereksitasi ke dalam tingkatan energi yang terletak terpisah dari ground oleh

⁴ John L. Zyskind, Op.Cit.



Gambar 3.5⁵
Propagasi Pompa Daya dan Sinyal Pada EDFA

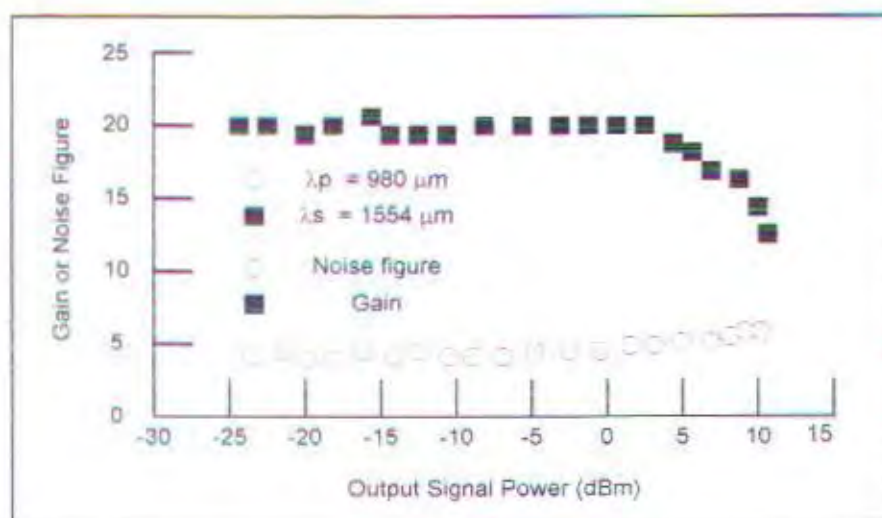


Gambar 3.6⁵
Gain Terhadap Daya Pompa Pada EDFA

⁵ Ibid.
⁶ Ibid.

energi yang sesuai pada photon dengan band panjang gelombang 1558 nm. Bila terdapat lebih ion erbium pada tingkatan tereksitasi dibandingkan dengan yang terdapat pada ground, EDF memunculkan penguatan selama proses pancaran stimulate.

Di mana terdapat ion erbium tereksitasi, maka dapat juga secara spontan memancarkan photon dan menurunkan hingga ke tingkatan ground. Karena pancaran spontan tidak mempunyai hubungan dengan sinyal transmisi, maka menghasilkan noise optik. Noise ini dapat lebih diperburuk oleh polarisasi lubang panas, yang mana dapat memilih penguatan noise relatif terhadap sinyal. Pengaruh ini dapat diminimalkan dengan cara depolarisasi sinyal. Magnitudo sinyal harus melebihi akumulasi noise dari seluruh EDFA dengan perbandingan cukup besar sehingga kebutuhan bit error ratio tidak terlampaui.



Gambar 3.7⁷
Daya Sinyal Terhadap Gain atau Noise Figure Pada EDFA

⁷ Ibid.

3.2.3 Sumber Pompa

Pemompaan secara efisien pada panjang gelombang 980 nm dan 1480 nm dengan penguatan melebihi 20 dB, dihasilkan oleh sumber daya lebih kecil dari 5 mW. Pada dasarnya 10 - 100 mW adalah daya yang diperlukan untuk menghasilkan daya output yang diharapkan.

Pada panjang gelombang 980 nm noise figurenya sekitar 3 dB. Tetapi panjang gelombang 1480 nm noise figurenya 1 dB lebih besar, karena terbatasnya emisi cahaya yang ditimbulkan. Laser diode semikonduktor sangat cocok sebagai pompa EDFA, karena mampu memancarkan ratusan daya mW pada panjang gelombang 980 nm dan 1480 nm. Untuk laser dengan panjang gelombang 980 nm, bahan yang digunakan adalah Indium Gallium Arsenide (InGaAs). Sedangkan untuk laser dengan panjang gelombang 1480 nm, bahan yang digunakan adalah Indium Gallium Arsenide atau Indium Gallium Arsenide Phopide.

Semakin pendek panjang gelombang laser diode akan membutuhkan semakin sedikit arus dan pendinginan, sehingga akan mengurangi kebutuhan daya listrik. Sebagian besar sumber pompa yang banyak digunakan adalah laser dengan panjang gelombang 1480 nm, karena keandalannya dan mudah untuk dibuat. Jika keandalan dari sumber pompa pada panjang gelombang 980 nm dapat meningkat dari hari ke hari, maka sumber ini mungkin akan menjadi satu pilihan pada suatu aplikasi yang membutuhkan rugi - rugi sangat kecil.

3.2.4 Komponen Pasif

Sinyal pompa dan sinyal transmisi digabungkan dengan sistem multipleks WDM seperti pada gambar 3.3 yang berbentuk fiber coupler atau optik bulk. Pada WDM, pompa dan sinyal mengalami rugi - rugi sekitar 0,5 dB selama penginjeksian.

Umpan balik yang berasal dari pemantulan penguat optik yang memiliki gain tinggi akan menyebabkan osilasi dan akan menurunkan noise. Dengan memberikan isolator optik pada saluran, akan menekan jumlah pemantulan ini, di mana isolator akan menurunkan tingkat pemantulan sekitar 35 dB, sedangkan rugi - rugi yang dihasilkan sekitar 1 dB.

Pada proses penguatan selalu diikuti oleh terbentuknya noise - noise, beberapa dari noise ini dapat dihilangkan dengan menempatkan optical fiber (OF) setelah amplifier.

3.3 Penggunaan Penguat Optik Pada Jaringan Kabel Laut

Penguat serat optik memberikan banyak hal yang istimewa, seperti format modulasi dan bit rate yang jelas, penguatan tinggi, daya output tinggi, noise rendah dan implementasi yang menjanjikan. Hal tersebut merupakan komponen yang menjadi kunci dari sistem kabel laut saat ini dan masa yang akan datang. Baik sistem dengan pengulang maupun tanpa pengulang akan lebih menguntungkan dengan penguatan optik, dengan peningkatan power budget dan arsitektur jaringan yang baru.

Mempertimbangkan perkembangan yang terjadi saat ini di dalam lingkungan sistem komunikasi serat optik, penguatan optik berlaku sebagai pemberi kontribusi utama menuju sistem transmisi kabel generasi baru. Prinsip

fisik dari penguatan optik telah diketahui tiga dekade terbaru, tetapi baru dilaksanakan ketika EDFA terealisasi kurang lebih delapan tahun lalu. Kelebihan potensi yang besar untuk sistem komunikasi serat optik telah diperkenalkan, serta penelitian secara luas yang banyak dan pengembangan sumber dayanya telah dikembangkan untuk sistem penguatan optik dan industri secara komersial.

3.3.1 Penerapan EDFA

EDFA merupakan populasi terbaik dari penguat optik. Media aktifnya merupakan inti dari serat optik yang disisipi dengan ion Er^{3+} . Bila memiliki energi yang cukup untuk menjangkau pembalikan (inversi) populasi dan disupply ke media, dengan menginjeksikan sinar pompa pada panjang gelombang yang sesuai untuk penyerapan ion Er^{3+} , sisi pemompa memberikan penguatan pada band 1,55 μm , melalui mekanisme emisi yang terstimulasi. Panjang gelombang pompa umum adalah 980 dan 1480 nm, karena daya tinggi laser semikonduktor terdapat pada panjang gelombang ini.

Dua pembatasan utama dari penguat optik benar - benar merupakan konsekuensi dari prinsip kerjanya. Pertama, emisi yang terstimulasi dalam media terbalik selalu diikuti dengan emisi spontan, yang merupakan asal timbulnya noise pada EDFA. Parameter inversi berhubungan dengan noise EDFA amplified spontaneous emission (ASE) pada penguatannya.

Pengaruh yang lain adalah saturasi penguatan sebagai supply energi pada medianya terbatas, energi penguat dapat memberikan kembali (sebagai sinyal atau noise yang diperkuat). Sehingga daya output EDFA dibatasi untuk struktur amplifier dan tingkatan pompa. Fenomena saturasi ini memiliki gerakan spesifik, dengan skala waktu berhubungan dengan waktu hidup Er^{3+} , dalam

batas milidetik. Yang menguntungkan adalah fenomena lambat dibandingkan dengan kecepatan (bit rate) sistem. Selanjutnya tidak terdapat distorsi sinyal yang mengalami pengurangan karena saturasi penguatan pada EDFA.

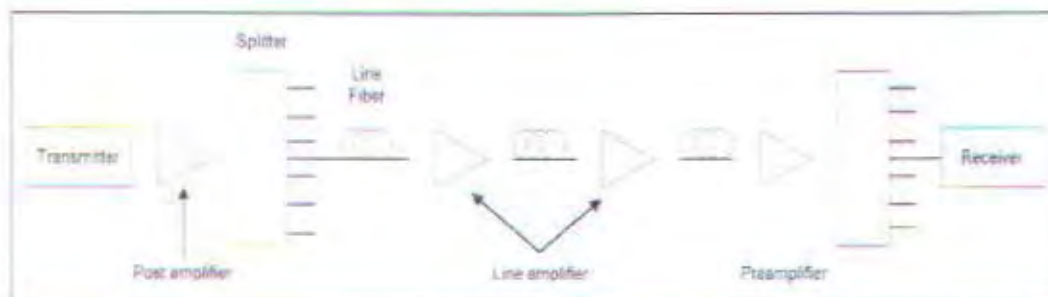
Aplikasi dari EDFA antara lain sebagai :

- Transmitter postamplifiers, berfungsi memperkuat sinyal optik sebelum penginjeksian pada saluran transmisi
- Line amplifiers, berfungsi memberikan penguatan analog, yang ditekankan pada linear dan transparan pada format dan kecepatan sinyal transmisi
- Receiver preamplifiers, berfungsi mendeteksi penguatan optik dari sinyal yang disertai noise pada rangkaian penerima.

Tiga aplikasi tersebut mengacu baik kepada sistem darat maupun laut, tetapi sistem kabel laut secara tradisional selalu menawarkan teknologi yang sesuai. Selain itu implementasi dari penguat optik pertama kali dipergunakan pada sistem kabel laut, baik dengan pengulang maupun tanpa pengulang.

3.3.2 Sistem Kabel Laut Tanpa Pengulang

Sistem tanpa pengulang yang terdiri dari terminal yang terletak pada darat dan terminal kabel laut merupakan sistem transmisi pertama yang mempergunakan penguatan optik. Sistem ini memiliki jangkauan beberapa kilometer hingga mendekati 400 kilometer dan karakteristiknya tidak dipengaruhi oleh elemen aktif.



Gambar 3.8⁶
Aplikasi Berbeda Dari Optical Amplifier

Sasaran sistem kabel laut tanpa pengulang terdiri dari beberapa tipe link, yaitu benua ke benua, benua ke pulau, pulau ke pulau. Penguat optik dapat dipergunakan pada sistem tanpa pengulang dengan pertimbangan meningkatkan power budget dari sistem, di mana konfigurasi yang dipergunakan dapat berupa transmitter postamplification dan receiver preamplification.

3.3.2.1 Postamplification

Penerapan yang nyata dari penguat optik pada sistem tanpa pengulang adalah dengan memperkuat sinyal sebelum dilewatkan pada saluran. Hal ini dikenal sebagai postamplification, yang memberikan perbaikan daya budget yang secara langsung sama dengan penguatan dari postamplifier. Mengacu hal tersebut, dengan daya input pada postamplifier sangat tinggi, tidak akan menurunkan SNR dan sensitivitas penerima tidak berubah. Perbaikan dapat diperoleh dengan menggunakan postamplification yang dibatasi oleh daya maksimum yang dapat dipergunakan pada saluran. Bila standar fiber digunakan, yang biasanya memiliki redaman kecil, batasannya sekitar +18 dBm pada 2,5

⁶ Paul M. Gable, *Op.Cit.*

Gbit/s dengan link 300 km. Pembatasan ini disebabkan oleh dispersi khromatik standar fiber.

Pembatasan daya yang diberikan dapat diatasi dengan penggeseran dispersi fiber. Namun fiber ini memiliki redaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan fiber standar (0.2 dB/km) pencapaian jarak lebih jauh dibandingkan dengan standar fiber yang membutuhkan daya sangat tinggi pada saluran.

3.3.2.2 Preamplification

Sebelum sinyal sampai pada penerima, sinyal diperkuat dengan preamplification sehingga dapat memperbaiki SNR pada receiver, yang membutuhkan daya optik rendah, tipikalnya 8 dB pada 2.5 Gbit/s dibandingkan dengan APD penerima.

Dengan preamplification sinyal membuat noise thermal penerima dapat dikurangi, yang mana bila tanpa preamplification merupakan hal yang dominan. Bagaimanapun, noise yang dibangkitkan oleh preamplifier menyebabkan dua komponen noise spesifik yang masih membatasi sensitivitas dari sistem.

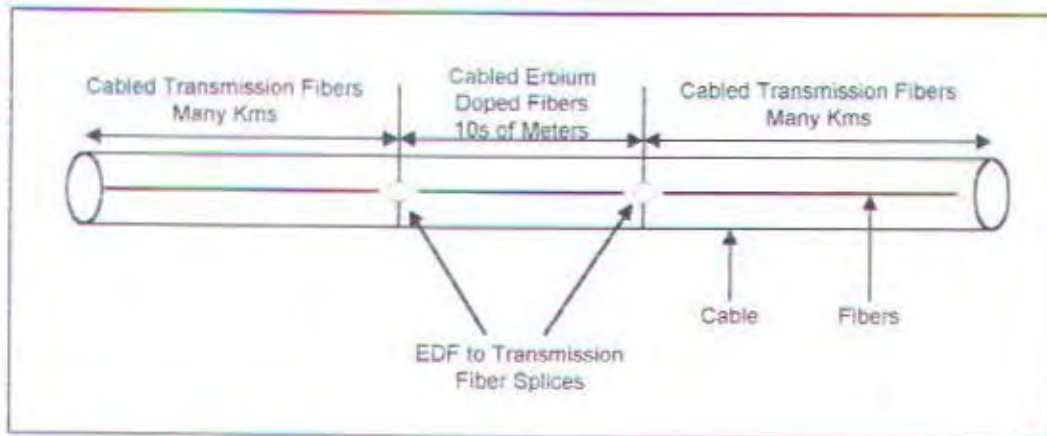
Noise pertama, yang timbul karena kumpulan komponen berbeda dapat dikurangi dengan menyisipkan narrow filter antara penguat optik dengan photodetector. Dengan bandwidth filter empat kali lebih dari bit rate, maka dapat mengurangi noise. Noise lain yang mempengaruhi SNR dapat dikurangi dengan memfilter dan memberikan batasan pokok dari sensitivitas preamplification penerima.

3.3.2.3 Remote Amplification

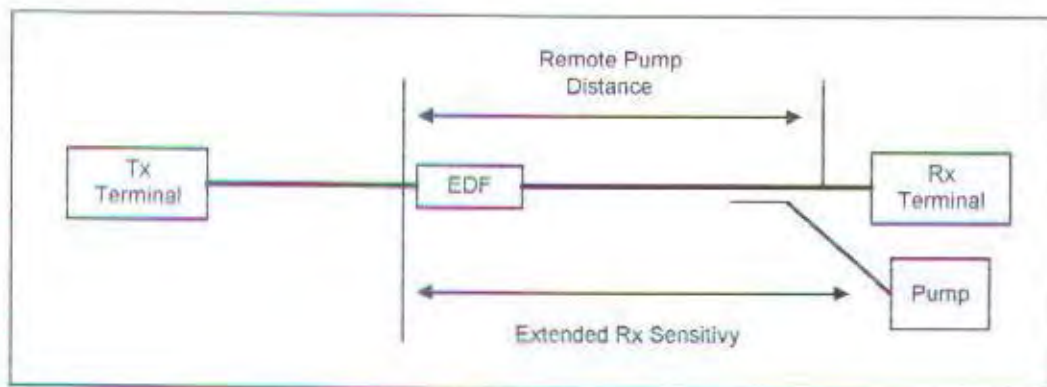
Untuk meningkatkan penguatan optik pada jarak tertentu dari terminal, digunakan remote amplification yang dapat meningkatkan daya budget. Hal ini disebabkan Post amplifier dan pre amplifier dalam terminal pada hakekatnya dibatasi pada non linearitas fiber pada bagian pengiriman, dan noise pada bagian penerimaan. Ide dasar dari remote amplification adalah menginjeksikan daya pompa ke dalam saluran dari terminalnya, dalam hal ini untuk membangkitkan sejumlah penguatan (gain), fiber yang didrop diletakkan jauh dari terminalnya. Daya pompa digunakan pada panjang gelombang 1480 nm karena pada panjang gelombang 980 nm akan terpotong oleh lintasan fiber.

Remote amplification digunakan pada sumber daya laser yang sangat tinggi. Cara kerjanya dengan mengirim sinar dari terminal (transmitter atau receiver) menuju ke suatu remote EDFA yang diletakkan beberapa puluh kilometer dari terminal. EDFA ini diletakkan pada bok bawah laut, namun tidak ada daya listrik yang dicatukan pada bok ini, sehingga masih disebut sistem tanpa pengulang.

Sinar pompa pada panjang gelombang 1480 nm (karena spektrum redaman fiber) dikirimkan menuju EDFA bawah laut melalui saluran fiber yang merupakan jalannya sinar, maka sinyal akan mengalami penguatan pada saluran yang memiliki daya yang tinggi. Penguatan ini akan terus berlangsung tanpa perubahan selama ada daya pompa cahaya.



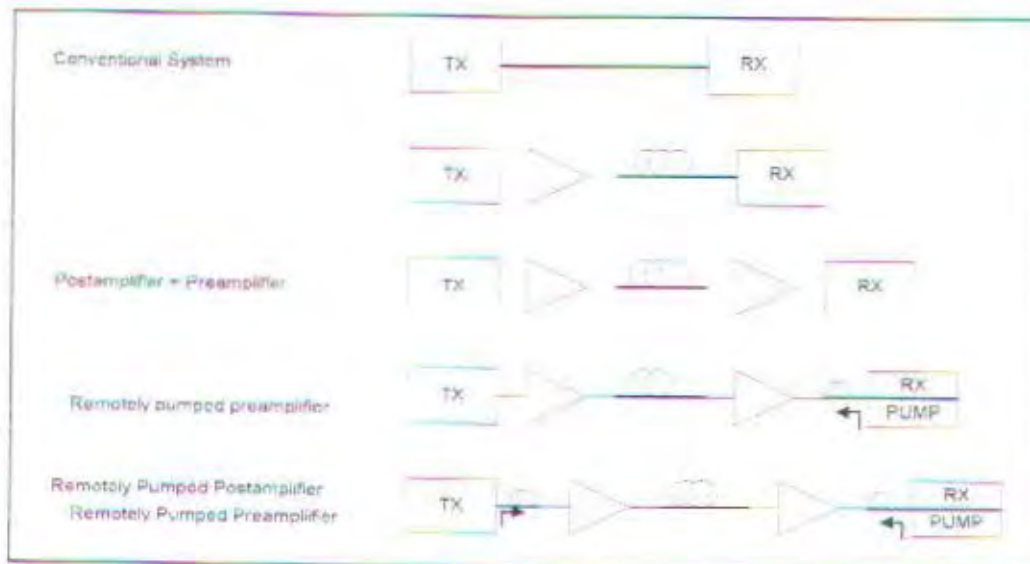
Gambar 3.9⁹
Implementasi Remote Amplifier



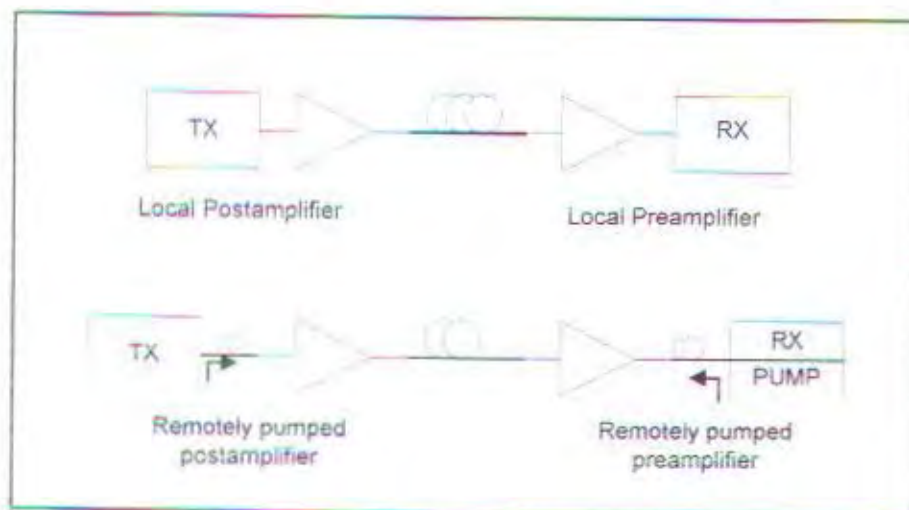
Gambar 3.10¹⁰
Diagram Remote Amplification

Parameter paling penting untuk pemompa jarak jauh adalah daya pompa yang tersedia pada stasion terminal. Pada sumber daya pompa tertinggi, maka EDF dapat diletakkan lebih jauh dari terminal stasion. Harga praktis terletak antara 100 hingga 400 mW pada panjang gelombang 1480 nm. Parameter lainnya adalah penentuan jarak optimum antara remotely pumped amplifier dan

⁹ P. T. Telekomunikasi Indonesia, Op.Cit.
¹⁰ Ibid.



Gambar 3.11¹¹
Konfigurasi EDFA Pada Sistem Tanpa Pengulang



Gambar 3.12¹²
Sistem Konfigurasi Remote Amplification Dan Post/Pre Amplifier Lokal

terminal stasion, yang bergantung pada remotely pumped amplifer bekerja pada terminal transmitter atau receiver.

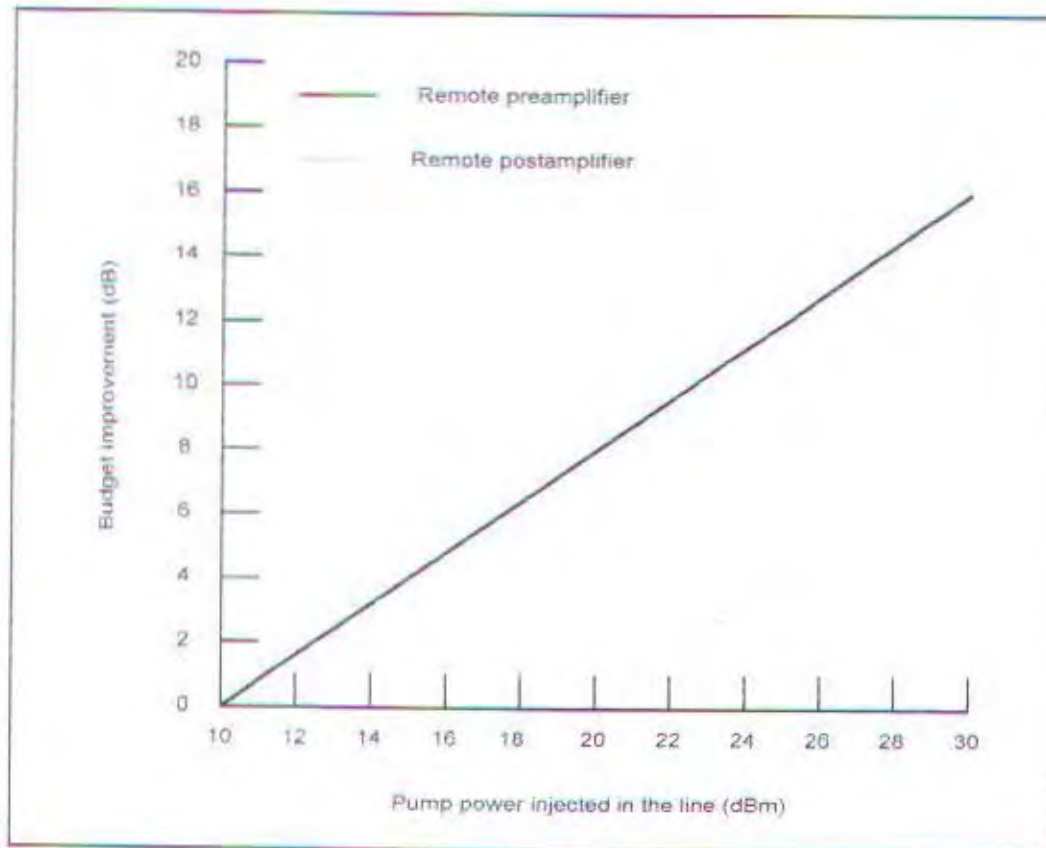
¹¹ Paul M. Gabla, Op. Cit.

¹² J. P. Blondel dan P. M. Gabla, Optical Amplification in Submarine Systems ; New Concepts and Ultimate Limits, Alcatel Submarcom, Centre de Villardceaux, 1995.

Konfigurasi ini masih dinamakan sistem tanpa pengulang karena tidak ada catu daya listrik pada peralatan kabel laut. Post amplifier dan pre amplifier konvensional dinamakan post dan pre amplification lokal. Untuk menunjukkan perbedaannya dapat dilihat pada gambar 3.12.

Remote preamplification, yang telah tersedia secara komersial, terdiri dari sumber pompa yang dikirim dari terminal receiver menuju suatu remote amplifier yang terletak 50 sampai 100 kilometer dari terminal. Remote preamplification berfungsi untuk mengkompensasikan rugi - rugi dari sisi remote, yang terletak antara remote amplifier dengan terminal. Sehingga daya budget akan meningkat sejalan dengan rugi - rugi sisi remote.

Untuk mencapai perbaikan budget sangat bergantung kepada ketersediaan sumber pompa daya. Untuk mencapai perbaikan daya budget sebesar 8 dB dengan local preamplifier optimal, dengan noise figure 5 dB, membutuhkan injeksi sebesar 85 mW daya pompa pada saluran. Remote postamplifier membutuhkan daya pompa sangat tinggi bila dikaitkan dengan lokal postamplifier. Sebagai contoh, pada 2.5 Gbit/s, pemenuhan perbaikan budget 5 dB dengan postamplifier daya penuh (+18 dBm) membutuhkan sekitar 350 mW sumber daya pada saluran. Akhirnya remote postamplification memungkinkan sesuai pada panjang gelombang 1480 nm, yang dapat menyediakan sumber pompa berkekuatan penuh. Daya output remote postamplifier dapat lebih mendekati daya output dari local postamplifier. Sehingga perbaikan budget akan sama.



Gambar 3.13¹³
Budget Improvement Remote Amplification

3.3.2.3.1 Remotely Pumped Postamplifier

Konfigurasi remotely pumped postamplifier diletakkan pada terminal transmitter. Pada keadaan ini, daya output mengalami pembatasan karena ketidaklinearan fiber. Jika sumber pompa daya lebih tinggi dari kebutuhannya untuk memperoleh daya output maksimum, maka akan lebih menguntungkan bila meletakkan amplifier ini jauh dari transmitter. Pada jarak di mana sumber daya dapat menjangkau EDF, maka dapat digunakan untuk membangkitkan daya output batas.

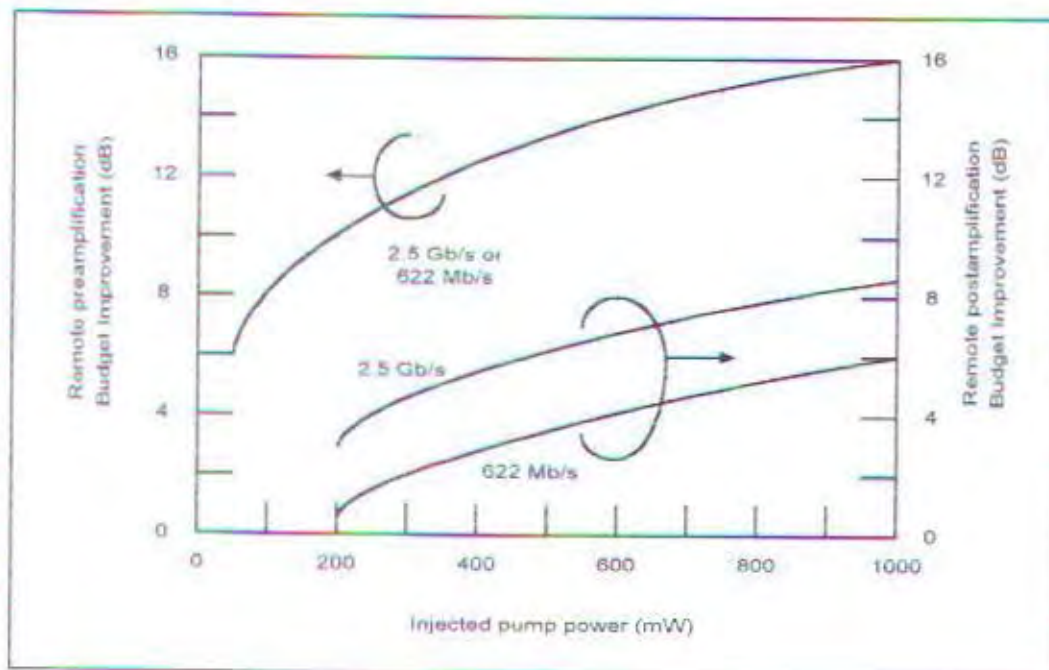
Jika EDF terlalu jauh dari terminal transmitter, maka sumber daya tidak akan cukup untuk mengoperasikan remote EDF sebagai postamplifier yang

¹³ J. P. Blondel, P. M. Gabla, Op.Cit.

efisien. Untuk penentuan jarak optimum dengan daya pompa terminal, diperoleh dari keseimbangan saluran, termasuk pengaruh penguatan Raman pada saluran fiber. Sebagai contoh, dengan daya sebesar 500 mW pada terminal transmitter, diharapkan penguatan link sebesar 24 dB dibandingkan dengan 0 dBm terminal DFB laser, dengan jarak remote sekitar 30 km.

3.3.2.3.2 Remotely Pumped Preamplifier

Konfigurasi remotely pumped preamplifier ditempatkan pada terminal penerima. Terdapat penguatan preamplifier minimum (25 dB) yang secara total meliputi noise thermal penerima. Jika tersedia daya pompa lebih tinggi daripada kebutuhan untuk memperoleh penguatan minimum, maka akan lebih baik bila amplifier diletakkan pada jarak jauh dari penerima, sampai daya pompa



Gambar 3.14¹⁴
Kebutuhan Daya Pompa Pada Remote Amplification

¹⁴ Paul M. Gabla, Op.Cit.

menjangkau EDF yang cukup tinggi untuk membangkitkan penguatan sebagai pengcover noise penerima.

Jika EDF terletak terlalu jauh dari terminal penerima, maka daya pompa tidak akan mencukupi untuk untuk membangkitkan remote EDF sebagai preamplifier yang efisien. Sehingga penguatan yang terjadi rendah dan dapat menurunkan noise. Pada kondisi ini penguatan Raman juga berpengaruh untuk penentuan jarak optimum. Dengan daya pompa sebesar 500 mW pada terminal penerima, penguatan link pada 2,5 Gbit/s dibandingkan dengan APD tipikal adalah sekitar 19 dB, dengan jarak remote sekitar 65 km.

Untuk kemampuan daya output laser pompa yang diberikan, dapat lebih menguntungkan dengan mengkopel beberapa pompa laser melalui polarisasi atau WDM atau menggunakan suatu fiber pemisah paralel untuk mentransportasikan sinar pompa kedua menuju remote amplifier. Penggunaan kombinasi teknik yang digunakan pada post amplification maupun pre amplification pada bit rate 622 Mbit/s dan 2,5 Gbit/s dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1¹⁵
Rentang Jarak Sistem Tanpa Pengulang (km)

	622 Mbit/s	2,5 Gbit/s
Conventional System	0 - 200	0 - 150
+ post amplifier	200 - 300	150 - 230
+ postamplifier + preamplifier	300 - 330	230 - 270
+ postamplifier + remote preamplifier	330 - 380	270 - 340
+remote postamplifier + remote preamplifier	380 - 400	340 - 370

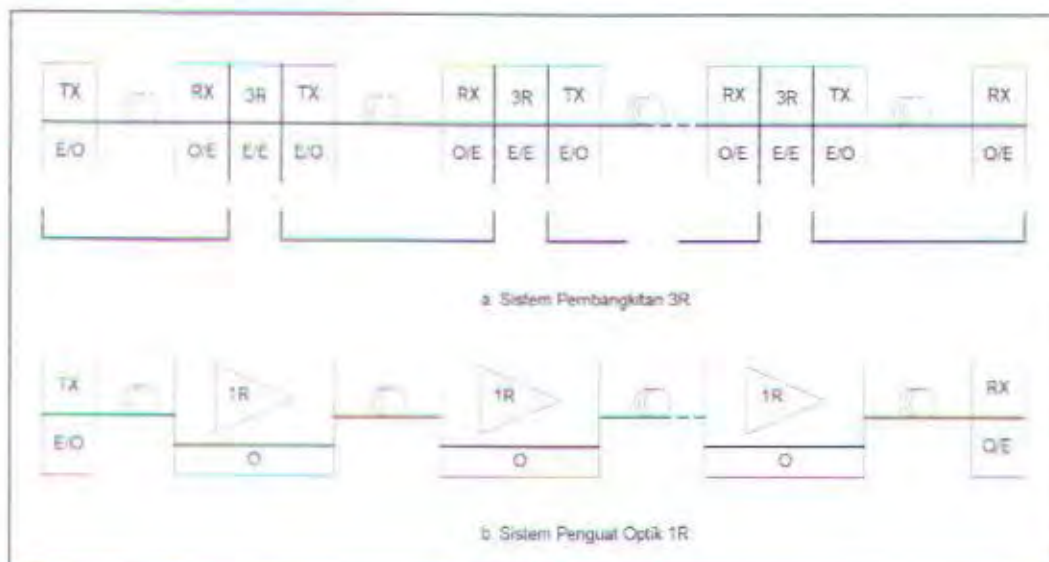
¹⁵ Ibid.

3.3.3 Sistem Kabel Laut Dengan Pengulang

Sistem ini mengacu kepada lintasan antar benua, yang terpisah beberapa ribu kilometer, yang dikenal dengan sebutan Multimegameter Link. Sebelum pengembangan penguat optik, sistem ini dibentuk dari rentetan sejumlah hubungan sistem transmisi kabel. Pengulang pada sistem ini terdiri dari photodetektor, yang merupakan alat elektronik untuk membangkitkan sinyal dan sebuah transmitter.

Sistem regenerasi (pembangkitan) 3R (retiming, reshaping dan regenerating) didesain atas dasar rentang per rentang, menghasilkan kualitas sinyal pada masing - masing pengulang, dengan bit rate spesifik dari rangkaian elektronik.

Sedangkan penggunaan pengulang penguat optik mempunyai konsep yang berbeda. Pengulang yang menggunakan EDFA hanya memperkuat sinyal



Gambar 3.15¹⁶
Sistem Yang Digunakan Pada Pengulang

¹⁶ Ibid.

optik tanpa disertai dengan pemrosesan sinyal secara elektronik. Terdapat dua konsekuensi yang bertentangan dari sistem 1R. Karena tidak terdapat pemrosesan sinyal secara elektronik, maka tidak terdapat komponen elektronik kecepatan tinggi pada pengulang. Hal ini menyebabkan lebih sederhana, lebih murah, lebih andal dan memiliki kemungkinan pengembangan kapasitas sistem. Walaupun tanpa adanya regenerasi sinyal, seluruh degradasi sinyal dan distorsi terakumulasi pada panjang total dari lintasan (link).

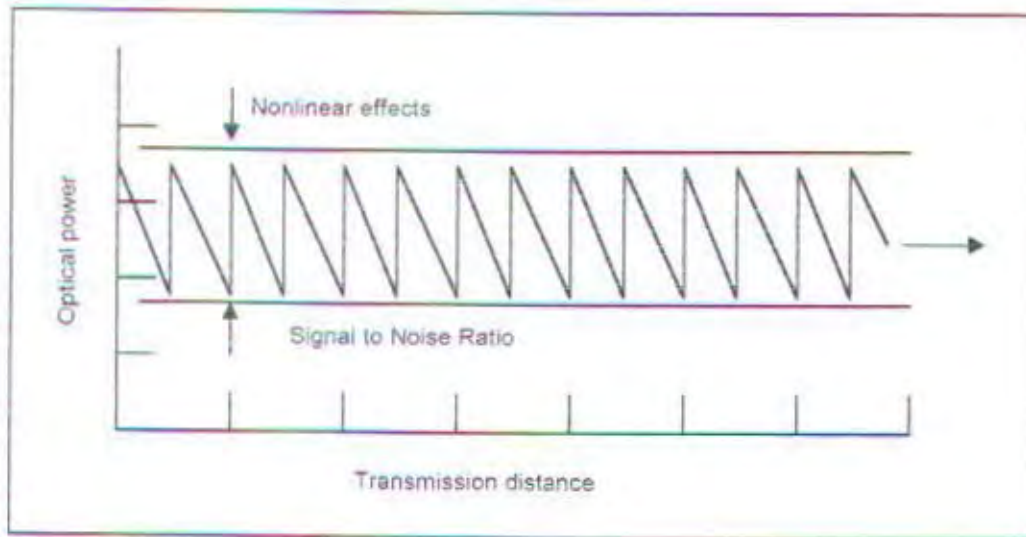
3.3.3.1 Degradasi Transmisi

Degradasi dari sistem transmisi dengan pengulang ini mempunyai kaitan dengan signal to noise ratio (SNR), distorsi sinyal secara kumulatif maupun pengaruh polarisasi.

3.3.3.1.1 Signal To Noise Ratio

Pada sistem jarak jauh yang menggunakan penguat optik, penempatan penguat secara cascade akan menghasilkan penguatan yang mendekati kompensasi nyata untuk redaman yang terjadi pada rentang antara terminal. Diagram level daya yang terjadi dapat dilihat pada gambar 3.16.

Masing - masing penguat memiliki kontribusi noise pada sistem, yang terdapat pada penguatan sinyal, kerapatan spektrum noise meningkat secara linear terhadap jumlah penguat, sehingga SNR akan mengalami penurunan pada saluran. Untuk menjaga agar diperoleh SNR yang baik pada terminal akhir, daya input penguat haruslah tinggi, sehingga sinyal yang tersisa akan lebih kuat dibandingkan dengan noise tersebut.



Gambar 3.16¹⁷
Diagram Level Daya Sistem Pengulang 1R

3.3.3.1.2 Distorsi Sinyal

Pada sistem 1R, noise terakumulasi pada panjang total dari sistem. Terdapat faktor penting yang menjadi penyebab timbulnya noise pada sistem jarak jauh. Dispersi kromatik, bila dikombinasikan dengan lebar spektrum modulasi akan menyebabkan penyebaran pulsa. Hal ini menyebabkan diperlukannya dispersion shifted fiber (DSF) untuk sistem jarak jauh dengan pengulang.

Selain itu merupakan pemberi kontribusi pada pengaruh Kerr, yang menyebabkan self phase modulation (SPM) pada sinyal dan four wave mixing (FWM) antara sinyal dengan komponen spektrum ASE, yang menyebabkan pelebaran sinyal. Karena hal itu, daya output amplifier tidak boleh terlalu tinggi dan rentang amplifier diusahakan sebesar mungkin.

¹⁷ J. P. Blondel, P. M. Gabia, Op.Cit.

3.3.3.1.3 Pengaruh Polarisasi

Pengaruh polarisasi pada sistem dapat menurunkan performa dan menentukan batasan pada elemen saluran transmisi. Timbulnya polarization dependent loss (PDL) tergantung kepada komponen pasif sistem (pompa pengkopel, tap coupler, isolator optik). Selain itu sistem dapat mengalami polarization dependent gain (PDG), yang terjadi bila penguat beroperasi pada daerah saturasi. Sehingga penguatan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan sinyal yang telah disertai noise, maka akan menurunkan secara keseluruhan SNR sistem. Redaman yang terjadi pada beberapa titik pada saluran, maka daya yang datang pada penguat selanjutnya akan lebih sedikit, sehingga penguatan lebih besar, sebagai kompensasi kecilnya daya input. Penguat berikutnya akan menjadi sama dan level optik nominal akan terpenuhi setelah 4 hingga 5 penguat. Sehingga SNR akan mengalami penurunan karena redaman yang terjadi, penurunannya lebih kecil dibandingkan dengan sistem 3R.

Pengaruh lain adalah polarization mode dispersion (PMD), yang disebabkan ketidakhomogenan fiber. Sinyal pada fiber biasanya terpolarisasi secara acak setelah jarak tertentu, tergantung kepada waktu, sehingga sinyal akan mengalami degradasi menurut variasi waktu. Untuk mengatasi dispersi, yang diperlukan adalah bekerja pada panjang gelombang dengan dispersi nol atau minimum. Tipe dispersi rata - rata adalah 0,2 ps/nm.km yang dipilih untuk saluran fiber.

3.3.4 Aplikasi EDFA Untuk Jarak Jauh

Pada sistem konvensional dengan link jauh membutuhkan pengulang dikarenakan standar terminal equipment tidak memungkinkan membangun

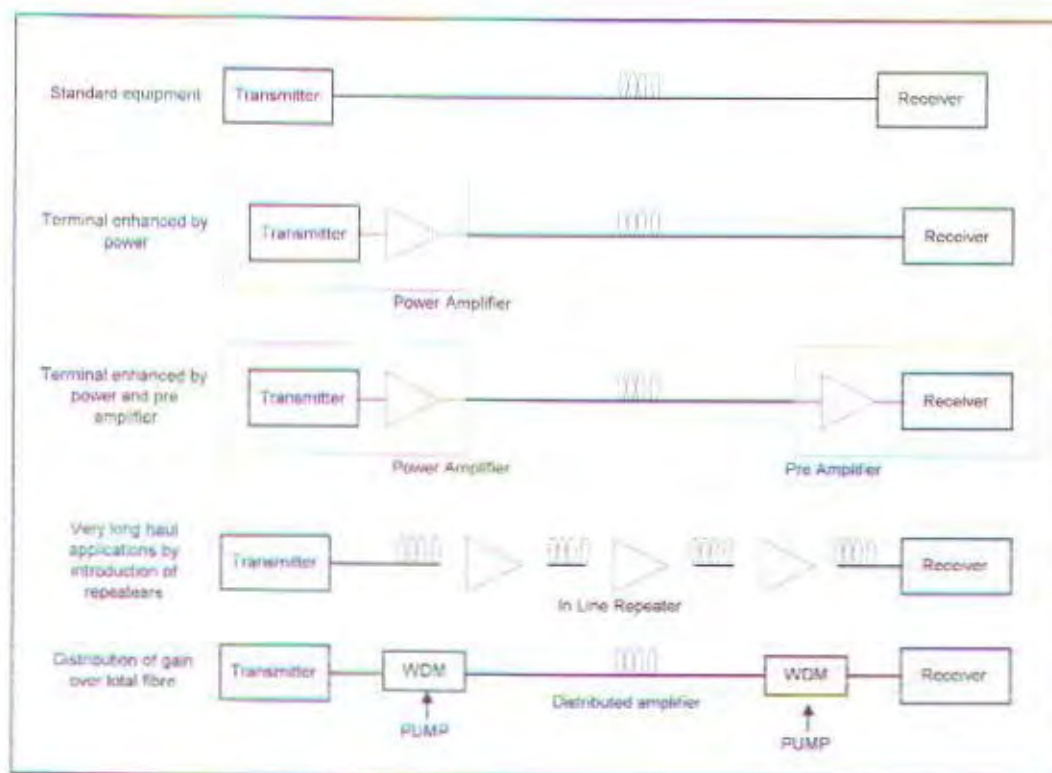
jembatan untuk menghubungkan antar terminal. Berdasarkan tinjauan ekonomis, penggunaan repeater mengharuskan untuk membangun beberapa fasilitas seperti bangunan tempat power supply, rumah bawah laut, battery cadangan serta peralatan pengawasan yang lengkap. Terutama untuk lokasi yang tidak dapat dijangkau, seperti sistem bawah laut, hal ini merupakan masalah tersendiri. Maka dengan peniadaan pengulang tidak hanya mengamankan stasiun pengulang, tetapi juga mengurangi harga instalasi dan perawatan. Selain itu, tujuan utama dari penguat optik adalah untuk meningkatkan jumlah link yang dapat dijumpai dengan tanpa terminal - terminal transmisi pengulang.

Langkah pertama untuk mencapai peningkatan power budget adalah untuk memperkuat daya output dari transmitter konvensional dengan penggunaan EDFA sebagai power amplifier. Bila diperlukan, peningkatan power budget dapat direalisasikan dengan penambahan optical preamplifier, di mana akan memperbaiki sensitivitas penerima.

Bila ditinjau dari sudut performa, penggunaan penguat lebih efektif, dikarenakan fiber akan mengurangi noise yang dibangkitkan penguat dengan jumlah sama seperti sinyal. Pada optical amplifier, bandpass filter dengan bandwidth 1-2 nm ditambahkan untuk meminimalkan pengaruh dari noise penguat pada penerima. Filter tersebut haruslah diatur pada panjang gelombang sinyal.

Dari sudut perawatan, sistem transmisi point to point tanpa pengulang adalah sangat sederhana. Pada kondisi ini baik power amplifier maupun optical preamplifier dapat diintegrasikan dengan pemancar dan penerima, memberikan perawatan yang menyeluruh tanpa memerlukan channel pengawasan khusus.

Untuk aplikasi yang membutuhkan pengulang, seperti hubungan antarpulau, hanya memerlukan terminal peralatan penguat optik. Meskipun dalam kasus link yang sangat jauh seperti jaringan bawah laut, jumlah pengulang dapat dikurangi, mengurangi harga keseluruhan sistem. Dibandingkan dengan pengulang konvensional, penguat optik membutuhkan peralatan elektronik lebih sedikit, mengurangi pengawasan dan perawatan. Pada kondisi penguat optik, chanel supervisory khusus untuk memonitor unjuk kerja pengulang tetap dibutuhkan.

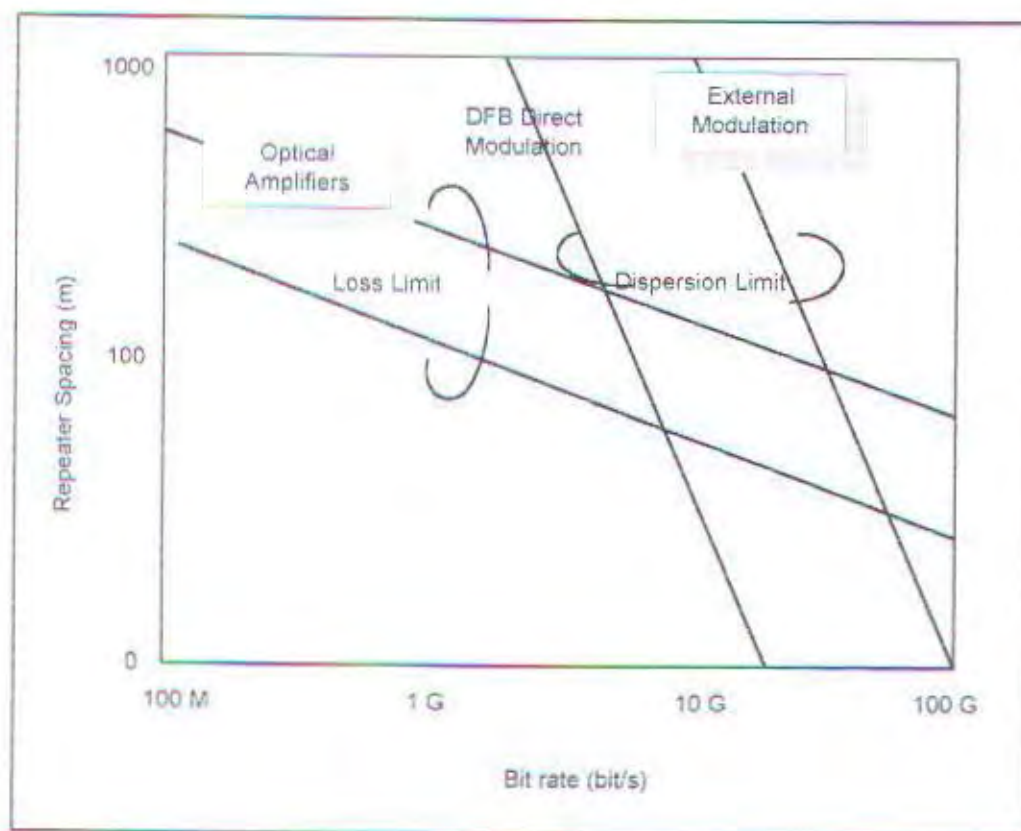


Gambar 3.17¹⁸
Aplikasi EDFA Untuk Link Jarak Jauh

¹⁸ A. M. J. Koonen, F. W. Willems, P. J. J. Stassar, System applications of erbium doped fibre amplifiers, Trends in Telecommunications, Vol. 3 No. 3.

3.4 Rentang Jarak Dengan EDFA

Penggunaan EDFA baik sebagai sistem komunikasi jarak jauh maupun sebagai penguat atau booster memiliki rentang jarak tertentu untuk mencapai jangkauan pengulang yang lebih jauh, mengurangi jumlah pengulang hingga tanpa menggunakan pengulang. Pada gambar 3.18 terlihat rentang jarak dari penguat optik dibandingkan dengan kecepatan yang dicapai.



Gambar 3.18¹⁹
Perbandingan Kecepatan Dengan Rentang Jarak

¹⁹ NTT, Submarine Cable System Technology, NTT, 1995.

BAB IV

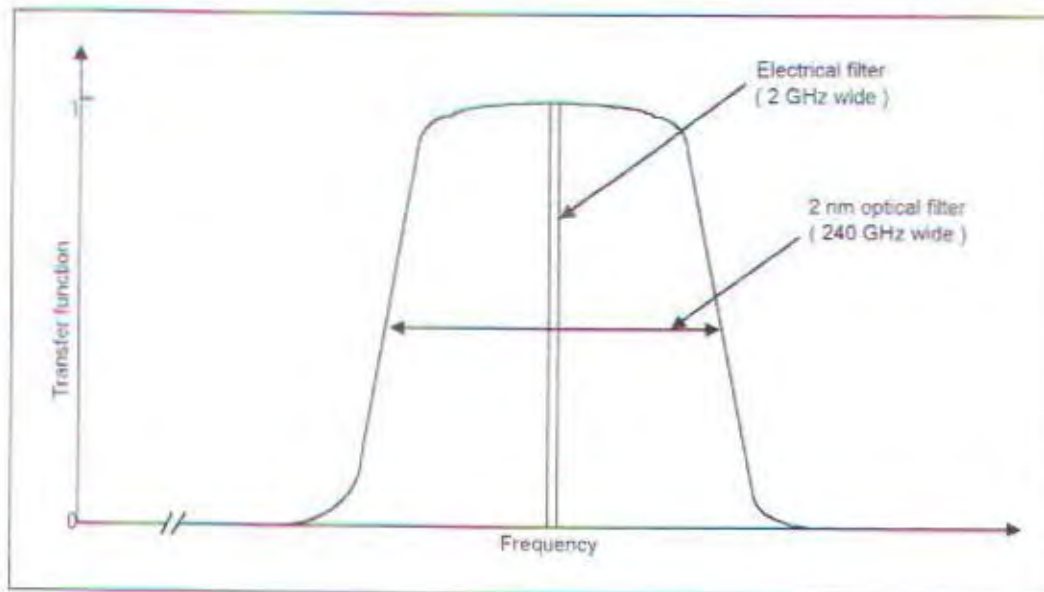
SISTEM KOHEREN PADA SUPER HIGHWAY TRUNK SYSTEM

4.1 UMUM

Sistem transmisi serat optik pada awalnya menggunakan teknik Intensity Modulation (IM), di mana photodetector memberikan tanggapan perubahan pada level daya (intensitas) dari sinyal optik dan tidak pada frekuensi maupun fasenya. Pada sisi penerima, digunakan Direct Detection (DD) untuk mengonversi sinyal optik menjadi sinyal elektrik kembali. Metode IM/DD menghasilkan sistem yang sederhana dan relatif harga rendah, namun terdapat pembatasan sensitivitas dan tidak menggunakan keuntungan dari lebar bandwidth dari serat optik.

Sekitar tahun 1978, para peneliti telah meningkatkan kemurnian spektrum dan stabilitas frekuensi dari laser semikonduktor menggunakan teknik deteksi heterodyne atau homodyne. Sistem komunikasi serat optik yang menggunakan teknik deteksi heterodyne atau homodyne dikenal dengan sistem komunikasi optik koheren. Pada teknik ini, cahaya diperlakukan sebagai media carrier yang dapat berupa amplitudo, frekuensi atau fase yang termulasi, yang memiliki kesamaan dengan metode yang digunakan pada sistem gelombang mikro radio.

Keuntungan utama dari coherent systems (sistem koheren) adalah sensitivitas penerima yang mendekati ideal (peningkatan sampai 20 dB melebihi direct detection) dan tingkatan tinggi dari selektivitas frekuensi. Selektivitas dari sistem koheren didasari pada kenyataan bahwa filter narrowband elektronik lebih

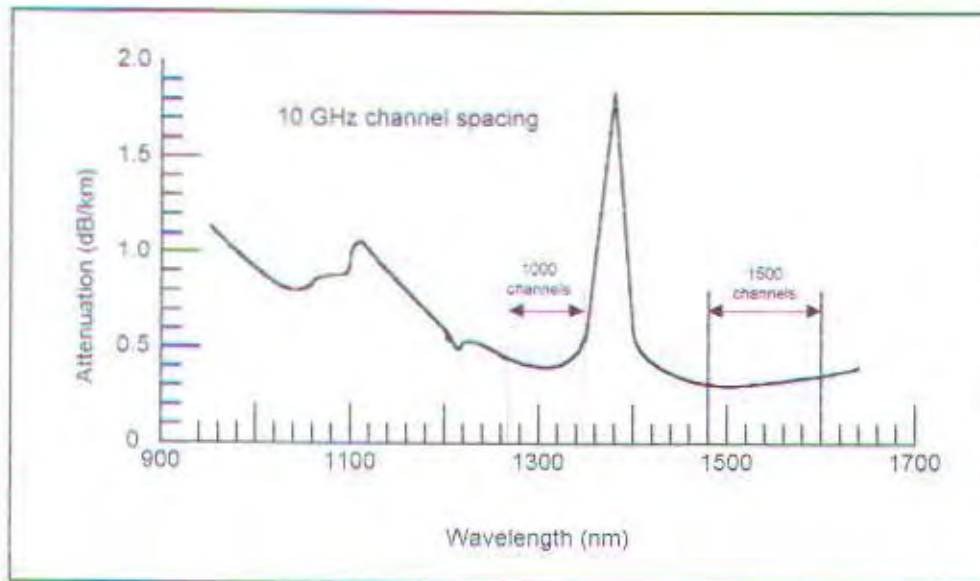


Gambar 4.1¹
Ilustrasi Filter Optik dan Filter Elektronik

dipilih dibandingkan dengan filter optik. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1. Pada daerah panjang gelombang passband 2 nm dari filter optik mempunyai ekivalensi dengan passband frekuensi 240 GHz. Dibandingkan dengan filter elektrik pada 2 GHz, dapat kita lihat bahwa filter elektrik memberikan beberapa harga magnitudo selektivitas frekuensi. Sehingga kerapatan chanel dari sistem koheren adalah banyak chanel dapat lebih seratus kali untuk direct detection.

Dua daerah transmisi yang dapat digunakan pada sistem koheren adalah 1270 nm hingga 1350 nm dan dari 1480 nm sampai 1600 nm. Sebagai contoh, pada gambar 4.2, dengan chanel frekuensi 10 GHz secara teori dapat menyalurkan sedikitnya 1000 chanel pada panjang gelombang dari 1270 nm hingga 1350 nm dan 1500 chanel pada 1480 sampai 1600 nm.

¹ Gerd Keiser, Optical Fiber Communications, McGraw-Hill, Inc, 1991, p. 377.



Gambar 4.2²
Penggunaan Saluran pada 10 GHz

Kemampuan untuk membentuk sistem tersebut tergantung pada kemampuan untuk mengembangkan laser semikonduktor koheren yang dapat dipergunakan pada frekuensi 30 GHz dengan single mode optical fiber, penerapan metode pengkodean data carrier, dan pengembangan metode control polarisasi dari penerima.

4.2 PENGGUNAAN SUMBER CAHAYA

Sistem transmisi kecepatan tinggi yang menggunakan osilator optik menawarkan perbaikan koheren. Sumber cahaya optik yang digunakan pada sistem transmisi telah mengalami perubahan dari light emitting diode (LED) ke Fabry Perot laser diodes, dan dari Fabry Perot laser diodes menuju distributed

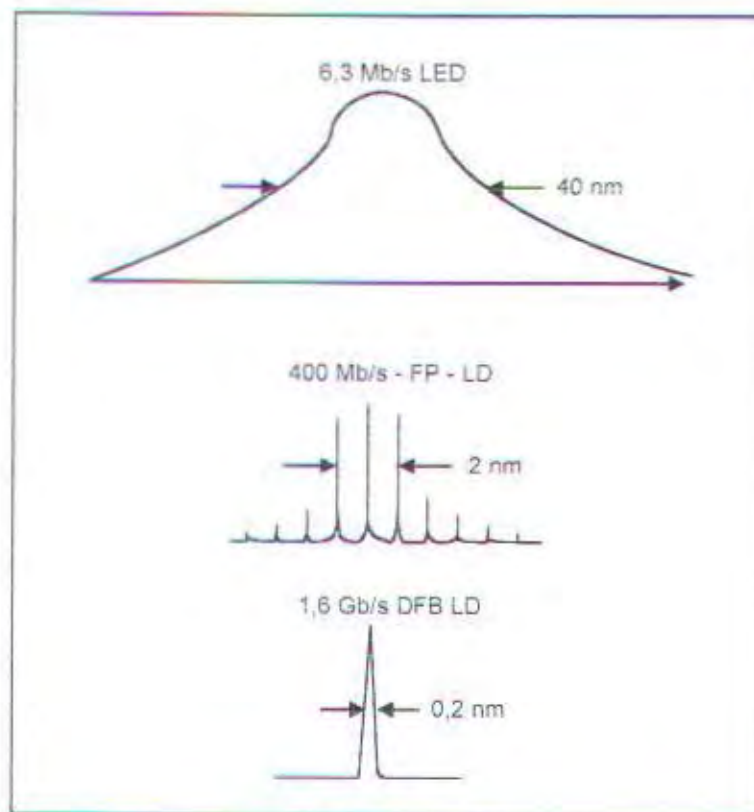
² Ibid., p. 378.

feedback (DFB) laser diodes. Dasar modulasi dan demodulasi yang digunakan pada kesemuanya itu tidak mengalami perubahan. Perkembangan sumber cahaya semikonduktor koheren sekarang ini menghasilkan teknologi komunikasi yang lebih baik penggunaannya untuk memanfaatkan potensial bandwidth dari carrier optik.

Penggunaan sistem koheren dalam sistem komunikasi optik diupayakan oleh para insinyur mulai tahun 1960 untuk memperluas teknologi komunikasi gelombang radio pada daerah komunikasi optik. Dapat diambil contoh pada tahun 1967, di mana deteksi optik heterodyne dari 64 kHz sinyal optik AM yang keluar dari waveguide sepanjang 61 km. Tahun 1973 telah diteliti transmisi optik FDM 30 GHz. Namun semuanya sulit untuk dipraktikkan dikarenakan penggunaan transistor - transistor atau laser gas.

Pada tahun 1970, sistem IM/DD berkembang sangat pesat setelah gelombang kontinyu laser diode (LD) dioperasikan pada suhu ruangan dan fiber silika dengan rugi - rugi kecil. Sistem jaringan Gbit/s telah menghubungkan beberapa kota besar di Amerika Utara dan di Jepang. Kabel serat optik bawah laut juga digunakan dalam komunikasi trans-Pasifik dan trans-Antlantik.

Perkembangan sistem komunikasi dengan kecepatan yang tinggi telah dihasilkan pada perkembangan terbaru dalam LD semikonduktor koheren. Sebagai hasil dari LD dengan koheren, sekarang telah dikembangkan deteksi optik heterodyne / homodyne, frequency division multiplexing optik dan teknologi optik yang lain. Tujuan yang ingin dicapai sebagai perkembangan sistem komunikasi serat optik adalah jarak jangkauan, transmisi dengan kecepatan tinggi

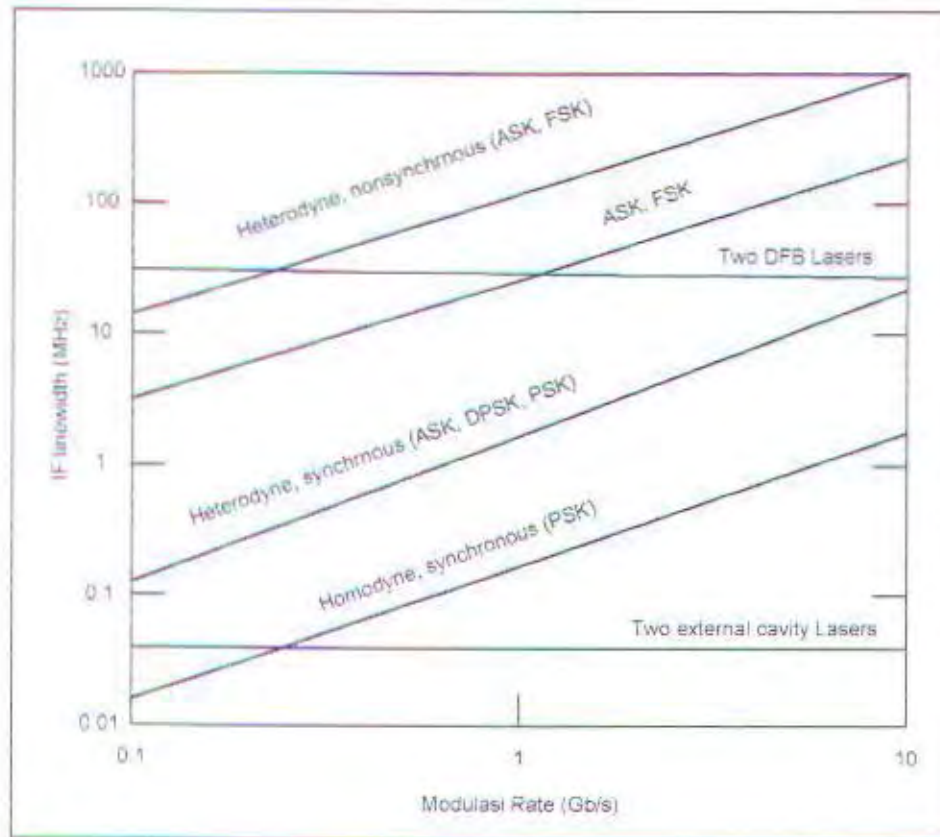


Gambar 4.3³
Spektrum Sumber Cahaya Semikonduktor

dan dense multiplexing optik. Teknologi multiplexing yang mengacu kepada hal tersebut adalah dengan menggunakan optical FDM.

Pada sistem koheren linewidth dari sumber cahaya harus lebih sempit dibandingkan dengan bandwidth modulasi. Linewidth yang dibutuhkan tergantung kepada format modulasi pada transmitter, kecepatan dan teknik demodulasi yang digunakan. Linewidth dari sinyal IF tanpa modulasi adalah sama dengan jumlah dari linewidth sumber dan linewidth LO. Kebutuhan yang utama adalah penempatannya pada sistem menggunakan deteksi sinkron. Sebagai contoh, sistem PSK heterodyne yang beroperasi pada 1 Gb/s membutuhkan linewidth

³ Kiyoshi Miura, Advanced Coherent Lightwave Technologies, IEEE Communications Magazine, February 1988 - Vol. 26, No. 2, p.16.



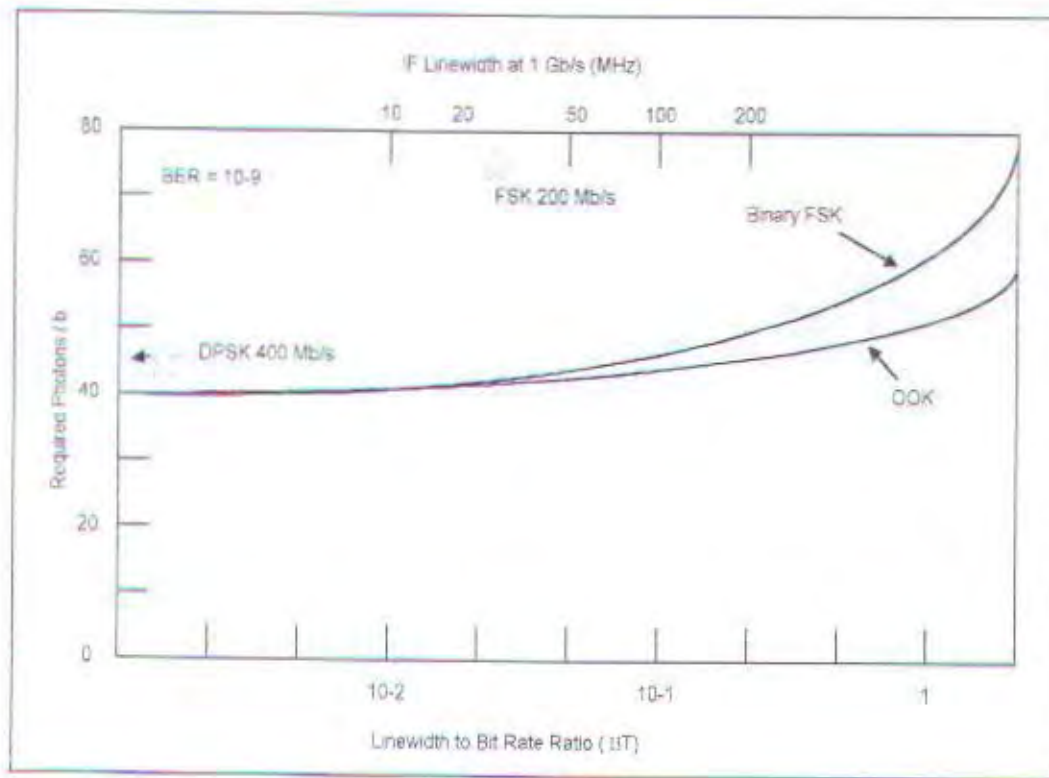
Gambar 4.4⁴
Kebutuhan Laser Linewidth Pada Sistem Koheren

sinyal IF 0,2 persen dari kecepatan untuk mencapai sensitivitas penerima penerima 1 dB.

4.3 OPTICAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING

Optical FDM atau dense optical wavelength division multiplexing (WDM), yang secara simultan memancarkan sejumlah sinyal optik dengan frekuensi yang berbeda, mempunyai aplikasi masa depan pada jaringan telekomunikasi dan

⁴ Gerd Keiser, Op.Cit., p. 383.



Gambar 4.5⁶
Sensitivitas Penerima

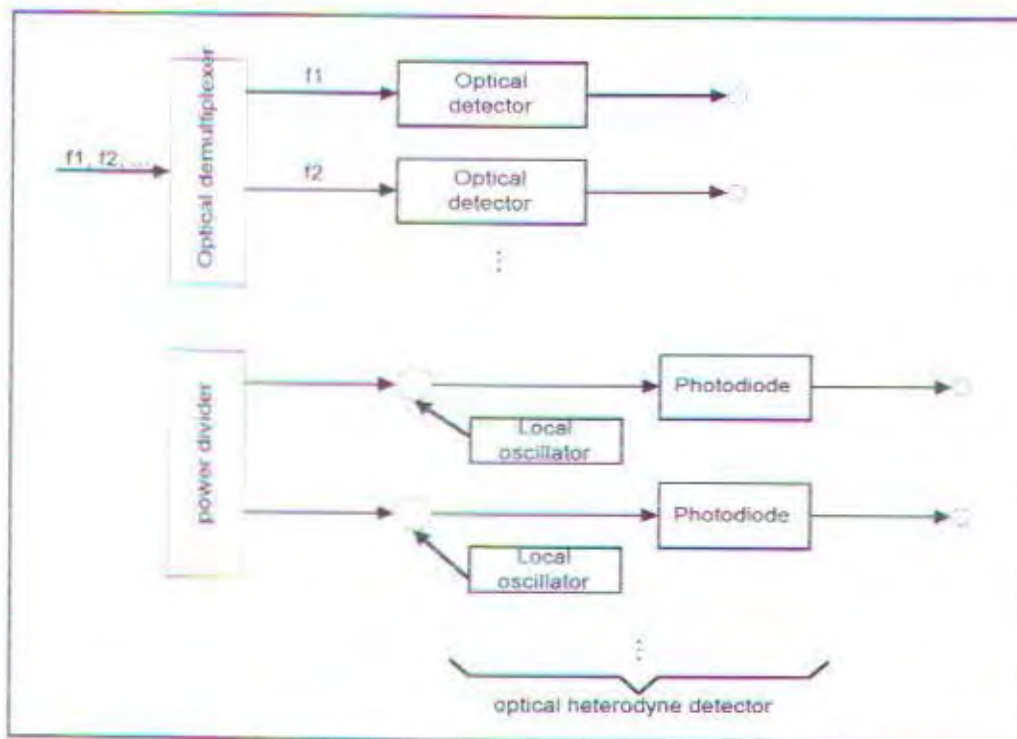
informasi broadband. Konsep dari optical WDM memiliki kesamaan dengan FDM di mana frekuensi memiliki hubungan dengan panjang gelombang.

Untuk rentang carrier optik yang luas, sebagai contoh rentang frekuensi 20.000 GHz (panjang gelombang $0,1 \mu\text{m}$), lebih sesuai untuk menggunakan istilah panjang gelombang pada sistem dan desain peralatan. Di lain pihak, untuk rentang channel yang sempit, seperti rentang frekuensi 5 GHz (rentang panjang gelombang $0,00004 \mu\text{m}$ atau $0,04 \text{ nm}$), lebih sesuai menggunakan istilah frekuensi. Sehingga optical FDM disebut juga dengan dense optical multiplexing.

⁶ Richard A. Linke, Optical Heterodyne Communications Systems, IEEE Communications Magazine, October 1989, p. 3.

Optical FDM memiliki dua keuntungan dibandingkan dengan optical WDM, yaitu perbedaan yang kecil dari karakteristik peralatan optik pada channel optik dan peningkatan dalam jumlah channel optik. Rugi - rugi fiber tergantung pada panjang gelombang. Dispersi fiber dan komponen optik yang lain bergantung pada panjang gelombang.

Terdapat hubungan antara jumlah channel yang dimultipleks dengan efisiensi penggunaan frekuensi dari multipleksing optik. Sebagai perbandingan, data pada sistem radio di Jepang, efisiensi penggunaan frekuensi merupakan perbandingan kapasitas transmisi total terhadap penggunaan bandwidth frekuensi. Efisiensi penggunaan frekuensi optical FDM dinyatakan dalam 10^{-1} hingga 10^{-2} bit/s per Hertz, di mana 10^4 hingga 10^5 lebih besar daripada efisiensi



Gambar 4.6^b

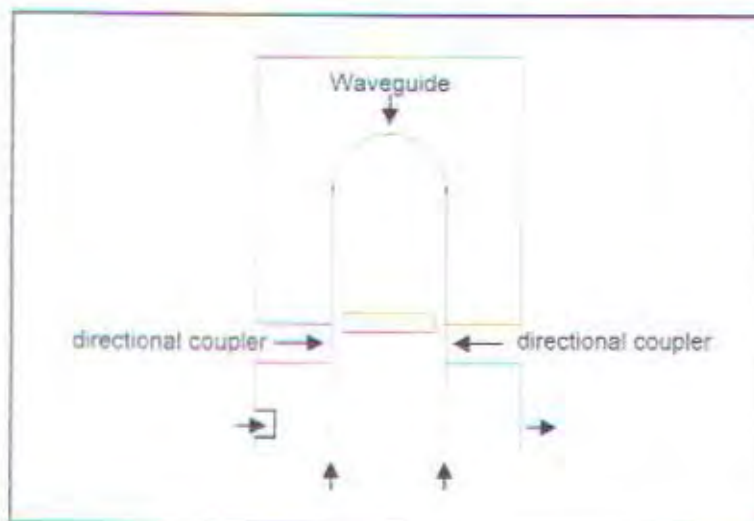
Metoda Pemisahan Sinyal Optik

^b Kiyoshi Nosu, Op.Cit., p. 20.

penggunaan frekuensi WDM konvensional. Sehingga optical FDM memungkinkan untuk memultipleks hingga 100 chanel optik dengan rugi - rugi rendah pada panjang gelombang $1,5 \mu\text{m}$.

Terdapat dua cara untuk memisahkan rentang sinyal optik sempit seperti terlihat pada gambar 4.6. Pertama melalui filter optik dengan menggunakan konfigurasi filter yang dikembangkan untuk gelombang milimeter atau gelombang mikro. Sedangkan yang kedua adalah dengan menggunakan filter elektrik IF pada deteksi heterodyne optik.

Pada metoda pemfilteran, baik direct detection maupun deteksi heterodyne dapat digunakan. Namun dikarenakan lebar rentang chanel WDM, peralatan WDM seperti filter dielektrik tipis tidak dapat digunakan untuk sistem FDM. Saat ini yang lebih menguntungkan adalah filter periodik. Dua directional coupler dihubungkan dengan dua waveguide. Perbedaan delay fase antara dua



Gambar 4.7⁷
Filter Periodik

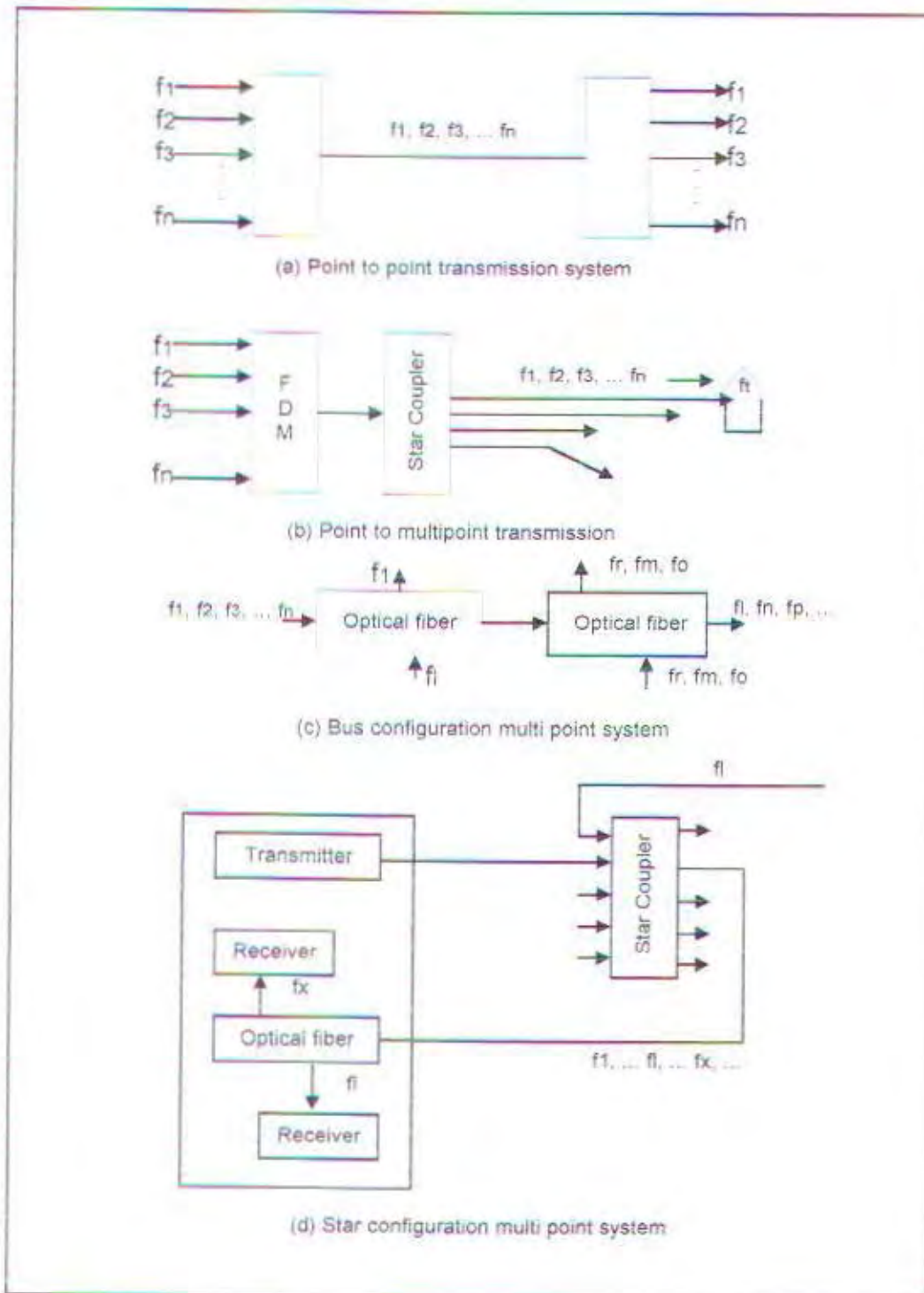
⁷ Ibid., Loc. Cit.

waveguide menentukan karakteristik pemfilteran, yaitu frekuensi f_1 dan f_2 . Dengan menghubungkan filter yang berbeda secara cascade, jumlah chanel dapat dikombinasikan atau dipisahkan.

Metoda filter elektrik dengan deteksi heterodyne juga digunakan untuk rentang chanel sempit. Namun rugi - rugi demultipleksing semakin besar sebagai akibat penambahan chanel optik. Hal penting yang perlu diperhatikan adalah stabilitas frekuensi dari sumber cahaya. Bila filter periodik digunakan, maka perubahan frekuensi sumber cahaya menimbulkan rugi - rugi pada multipleksing dan crosstalk. Cara untuk menekan penyimpangan frekuensi adalah dengan mengawasi daya yang ditransmisikan melalui Fabry Perot atau LD.

Aplikasi tambahan dari optical FDM adalah pada konfigurasi sistem yang terdiri dari sistem transmisi point to point, sistem point to multipoint, sistem multipoint konfigurasi bus, dan sistem multipoint konfigurasi star. Aplikasi dari optical FDM dapat dilihat pada gambar 4.8.

Pada transmisi point to point, di mana frekuensi optik dialokasikan untuk layanan, pengguna dapat memilih satu atau beberapa sinyal dari sejumlah sinyal yang didistribusikan. Terdapat dua metoda pemilihan chanel. Yang pertama menggunakan filter optik yang tunable dan direct detection. Sedangkan yang lain menggunakan deteksi heterodyne dengan LD tunable.

Gambar 4.8⁶

Aplikasi Optical FDM

⁶ Ibid.

4.4 SISTEM KOHEREN

Pada literatur komunikasi serat optik kata koheren mengacu kepada suatu teknik yang mempergunakan mixing nonlinear antara dua gelombang optik. Hal ini berbeda dengan komunikasi radio, di mana mengacu kepada teknik deteksi fase mutlak dari sinyal datang yang diterima oleh penerima, sehingga pada komunikasi radio disebut dengan incoherent (tidak koheren).

4.4.1 Konsep Dasar

Konsep dasar pada sistem koheren dapat dilihat pada gambar 4.9. Medan elektrik dari sinyal yang ditransmisikan melalui bidang datar mempunyai bentuk :

$$E_s = A_s \cos \left[\omega_s t + \phi_s(t) \right] \quad (4-1)$$

di mana : A_s = amplitudo medan sinyal optik

ω_s = frekuensi carrier sinyal optik

$\phi_s(t)$ = fase sinyal optik

Untuk mengirim informasi dapat digunakan baik amplitudo, frekuensi, maupun fase dari optik carrier. Sehingga teknik modulasi yang dapat digunakan adalah :

1. Amplitude shift keying (ASK) atau on-off keying (OOK).

Pada kondisi ini ϕ_s konstan dan amplitudo sinyal A_s memberikan dua harga selama periode bit tergantung dari 0 atau 1 yang ditransmisikan.

2. Frequency shift keying (FSK)

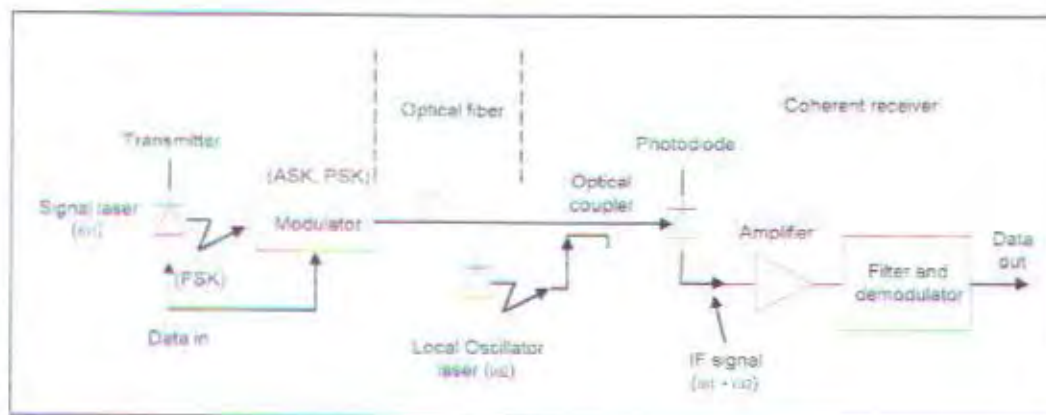
Amplitudo A_s konstan dan $\phi_s(t)$ baik $\omega_1 t$ atau $\omega_2 t$, frekuensi ω_1 dan ω_2 menunjukkan harga sinyal biner.

3. Phase shift keying (PSK)

Informasi dilalukan melalui gelombang sinus $\phi_s(t) = \beta \sin \omega_m t$, di mana β merupakan indeks modulasi dan ω_m merupakan frekuensi modulasi.

Pada sistem direct detection, sinyal elektrik masuk ke dalam pemancar modulasi amplitudo dengan level daya optik dari sumber cahaya. Selanjutnya daya optik menyesuaikan dengan tingkatan dari sinyal. Pada penerima, sinyal optik yang masuk dikonversi secara langsung menjadi output listrik yang terdemodulasi. Pendeteksian arus yang terjadi dengan intensitas I_{DD} menghasilkan :

$$I_{DD} = E_s E_s^* = \frac{1}{2} A_s^2 [1 + \cos(2\omega_s t + 2\phi_s)] \quad (4-2)$$



Gambar 4.9⁹

Konsep Dasar Sistem Koheren

⁹ Gerd Keiser, Op.Cit., p. 379.

Suku yang mengandung $\cos(2\omega_s t + 2\phi_s)$ dieliminasi pada penerima, sehingga persamaan DD menjadi :

$$I_{DD} = E_s E_s^* = \frac{1}{2} A_s^2 \quad (4-3)$$

Pada sisi penerima sistem koheren, penerima menambahkan gelombang optik lokal pada sinyal yang datang dan mendeteksi kombinasi yang terjadi.

Jika medan dari local oscillator (LO) dinyatakan dengan :

$$E_{LO} = A_{LO} \cos [\omega_{LO} t + \phi_{LO}(t)] \quad (4-4)$$

di mana : A_{LO} = amplitudo medan LO

ω_{LO} dan $\phi_{LO}(t)$ = frekuensi dan fase local oscillator

Kemudian intensitas $I_{coh}(t)$ dinyatakan :

$$\begin{aligned} I_{coh}(t) &= (E_s + E_{LO})^2 \\ &= \frac{1}{2} A_s^2 + \frac{1}{2} A_{LO}^2 + A_s A_{LO} \cos [(\omega_s - \omega_{LO})t + \phi(t)] \cos \theta(t) \end{aligned} \quad (4-5)$$

di mana $\phi(t) = \phi_s(t) - \phi_{LO}(t)$ adalah perbedaan fase relatif antara sinyal informasi dan sinyal LO, dan

$$\cos = \frac{E_s \cdot E_{LO}}{|E_s| |E_{LO}|} \quad (4-6)$$

menunjukkan polarisasi antara gelombang sinyal dan gelombang LO. Dengan daya optik $P(t)$ sebanding dengan intensitas, maka pada photodetektor diperoleh

$$P(t) = P_s + P_{LO} + 2\sqrt{P_s P_{LO}} \cos [(\omega_s - \omega_{LO})t + \phi(t)] \cos \theta(t) \quad (4-7)$$

di mana P_s dan P_{LO} merupakan daya dari sinyal dan daya LO optik, dengan $P_{LO} \geq P_s$. Perbedaan antara frekuensi sudut yang diperoleh, yaitu $\omega_{IF} = \omega_s - \omega_{LO}$ merupakan frekuensi intermediate, dan fase sudut $\phi(t)$ memberikan perbedaan fase yang berubah waktu antara level sinyal dan level LO. Adapun frekuensi ω_{IF}

memiliki harga dalam batas frekuensi radio hingga beberapa puluh atau ratus megahertz.

4.4.2 Deteksi Homodyne

Jika frekuensi sinyal carrier dan frekuensi LO mempunyai harga sama, yaitu bila $\omega_{IF} = 0$, maka akan diperoleh kondisi deteksi homodyne. Maka persamaan (4-7) akan menjadi :

$$P(t) = P_s + P_{LO} + 2\sqrt{P_s P_{LO}} \cos \phi(t) \cos \theta(t) \quad (4-8)$$

Teknik modulasi OOK (variasi level sinyal P_s dengan $\phi(t)$ tetap) maupun PSK (variasi fase $\phi_s(t)$ dari sinyal dengan P_s konstan) dapat digunakan untuk mentransmisikan informasi. Bila $P_{LO} \geq P_s$ dan P_{LO} konstan, maka suku terakhir bagian kanan persamaan (4-8) berisi informasi yang ditransmisikan. Dengan meningkatnya daya laser yang berakibat peningkatan suku ini, LO secara efektif akan berlaku sebagai penguat sinyal, sehingga memberikan sensitivitas yang lebih besar dibandingkan dengan DD.

Pada persamaan (4-8) terlihat bahwa deteksi homodyne membawa sinyal secara langsung ke frekuensi baseband, sehingga tidak memerlukan demodulasi elektrik. Penerima homodyne menghasilkan sistem koheren yang sangat peka. Tetapi untuk membentuknya merupakan pekerjaan yang sangat sulit, di mana LO dikontrol oleh PLL optik.

4.4.3 Deteksi Heterodyne

Pada deteksi heterodyne, harga frekuensi intermediate ω_{IF} tidaklah nol seperti deteksi homodyne, dan PLL optik tidaklah diperlukan. Sehingga dibandingkan dengan deteksi homodyne, deteksi heterodyne lebih mudah

diimplementasikan pada penerima. Namun nilai sensitivitas yang diperolehnya mempunyai penurunan 3 dB dibandingkan dengan deteksi homodyne.

Bila $P_s \leq P_{LO}$, maka suku pertama pada sisi kanan persamaan (4-7) dapat diabaikan. Arus output penerima terdiri dari suku dc yaitu :

$$i_{dc} = \frac{\eta q}{h \nu} P_{LO} \quad (4-9)$$

sedangkan harga IF yang berubah menurut waktu adalah :

$$i_F(t) = \frac{2 \eta q}{h \nu} \sqrt{P_s P_{LO}} \cos [\omega_{IF} + \phi(t)] \cos \theta(t) \quad (4-10)$$

4.5 TEKNIK MODULASI

Pada sistem transmisi optik koheren terdapat tiga cara dasar untuk mengirim informasi, yaitu phase shift keying (PSK), frequency shift keying (FSK) dan amplitude shift keying (ASK). Pada sistem digital biner, teknik ASK yang umum adalah on off keying (OOK). Untuk pengembalian informasi pada penerima, dapat digunakan baik teknik dekteksi optik homodyne maupun heterodyne bersama dengan deteksi synchronous (sinkron) atau asynchronous (asinkron). Pemilihan metode modulasi dan demodulasi menentukan sensitivitas penerimanya.

Umumnya karakteristik unjuk kerja dari sistem komunikasi digital ditentukan dalam bit error rate (BER). BER bergantung kepada signal to noise ratio (SNR) dan fungsi kerapatan probabilitas (PDF) pada output penerima. Bila digunakan daya LO tinggi, fungsi kerapatan probabilitasnya merupakan Gaussian baik untuk teknik homodyne maupun heterodyne, maka BER hanya bergantung kepada SNR. Sehingga sensitivitas penerima dapat dinyatakan berdasarkan

ketersediaan SNR pada output penerima, yang secara langsung berhubungan dengan daya sinyal optik penerima. Sensitivitas penerima untuk teknik deteksi koheren yang berbeda dinyatakan dalam jumlah rata - rata photon yang dibutuhkan untuk mencapai BER 10^{-9} .

4.5.1 Direct Detection OOK

Bila kita mengirim urutan pulsa OOK 0 dan 1 dengan probabilitas yang sama, maka bila data OOK hanya pada setengah waktu rata - rata, akan membutuhkan jumlah photon per bit informasi sejumlah setengah dari yang dibutuhkan tiap pulsa. Maka terbentuk N dan 0 pasangan lubang elektron selama pulsa 0 dan 1, sehingga jumlah rata - rata photon per bit \overline{N}_p untuk efisiensi quantum ($\eta = 1$) adalah :

$$\overline{N}_p = \frac{1}{2} \overline{N} + \frac{1}{2} (0) \quad (4-11)$$

dengan N adalah

$$\overline{N} = \frac{\eta}{h\nu} \int_0^{\tau} P(t) dt = \frac{\eta E}{h\nu} \quad (4-12)$$

di mana : η = efisiensi detektor quantum

$h\nu$ = energi photon

E = energi yang diterima dalam interval waktu τ

Adapun jumlah nyata dari pasangan elektron hole n yang berfluktuasi menurut distribusi Poisson, yaitu

$$P_r(n) = \overline{N}^n \frac{e^{-\overline{N}}}{n!} \quad (4-13)$$

di mana $P_r(n)$ merupakan probabilitas n elektron yang dipancarkan selang interval τ .

Dengan asumsi pulsa optik dari energi E mengenai photodetektor pada selang waktu τ , maka dapat diinterpretasikan penerima sebagai pulsa 0 bila tidak terdapat pasangan elektron hole dibangkitkan. Jadi probabilitas dengan $n = 0$ elektron yang dipancarkan selang waktu τ adalah

$$P_r(0) = e^{-\bar{N}} \quad (4-14)$$

Dari persamaan (4-14), maka peluang terjadinya error adalah

$$\frac{1}{2} P_r(0) = \frac{1}{2} e^{-\bar{N}_s} \quad (4-15)$$

Dari persamaan tersebut di atas dapat diketahui bahwa sejumlah 10 photon tiap bit dibutuhkan untuk mencapai BER 10^{-9} untuk sistem direct detection OOK. Pada praktiknya sangat sulit untuk mencapai hal tersebut pada penerima direct detection. Penguatan secara elektronik yang menyertai photodetektor menyebabkan timbulnya noise thermal dan noise shot, sehingga membutuhkan tingkat daya penerima pada kisaran 13 hingga 20 dB di atas batas quantum.

4.5.2 Sistem Homodyne OOK

Bila pulsa 0 dengan durasi T diterima, jumlah rata - rata \bar{N}_0 pasangan elektron hole dibentuk oleh LO, sehingga dinyatakan :

$$\bar{N}_0 = A_{LO}^2 T \quad (4-16)$$

Untuk pulsa 1, jumlah rata - rata pasangan elektron hole, \bar{N}_1 adalah :

$$\bar{N}_1 = (A_{LO} + A_s)^2 T \cong (A_{LO}^2 + 2A_{LO} A_s) T \quad (4-17)$$

di mana merupakan harga pendekatan untuk kondisi $A_{LO}^2 \geq A_s^2$. Dengan daya output LO lebih besar daripada tingkat sinyal yang diterima, tegangan dari dekoder penerima selama 1 pulsa adalah

$$V = \overline{N}_1 - \overline{N}_0 = 2A_{LO} A_s T \quad (4-18)$$

dan noise rms σ adalah

$$\sigma \equiv \sqrt{\overline{N}_1} \cong \sqrt{\overline{N}_0} \quad (4-19)$$

Dengan persamaan berikut ini maka akan diperoleh BER :

$$P_e = \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{V}{2\sqrt{2}\sigma} \right) \right] \quad (4-20)$$

Sehingga diperoleh BER :

$$P_e = \text{BER} = \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{V}{2\sqrt{2}\sigma} \right) \right] = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{V}{2\sqrt{2}\sigma} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{A_s T^{1/2}}{\sqrt{2}} \right) \quad (4-21)$$

di mana $\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x)$ merupakan fungsi error komplemen.

Untuk deteksi homodyne OOK, energi rata - rata masing - masing pulsa harus memberikan 36 pasangan elektron hole. Pada kondisi yang ideal di mana efisiensi quantum adalah kesatuan, BER 10^{-9} akan dicapai dengan energi optik terima rata - rata dari 39 photon tiap pulsa. Dengan pengasumsian urutan OOK pulsa 0 dan 1 dengan probabilitas yang sama, maka jumlah rata - rata photon yang diterima tiap bit informasi, \overline{N}_p adalah 18 (separuh dari jumlah yang dibutuhkan tiap pulsa). Sehingga BER untuk detekksi homodyne OOK adalah :

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\eta \overline{N}_p} \right) \quad (4-22)$$

Dengan pendekatan untuk $x \geq 5$ diperoleh

$$\operatorname{erfc}(\sqrt{x}) \cong \frac{e^{-x}}{\sqrt{\pi x}} \quad (4-23)$$

Sehingga diperoleh

$$\text{BER} = \frac{e^{-\eta \bar{N}_p}}{(\pi \eta \bar{N}_p)^{1/2}} \quad (4-24)$$

untuk $\eta \bar{N}_p \geq 5$ pada deteksi homodyne OOK.

4.5.3 Sistem Homodyne PSK

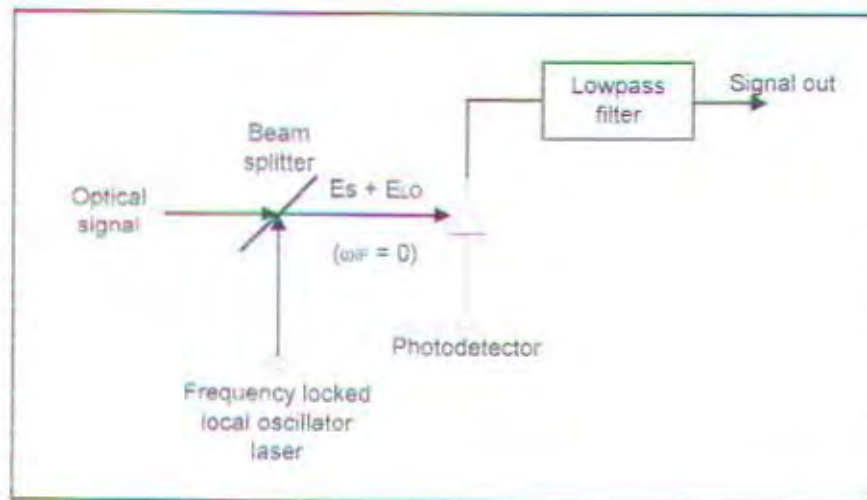
Secara teori, deteksi homodyne modulasi PSK menghasilkan sensitivitas penerima yang terbaik, tetapi juga merupakan metoda yang tersulit untuk pengimplementasiannya. Sinyal optik yang datang dikombinasikan dengan gelombang optik yang dipancarkan dari local oscillator. Pengkombinasian ini dilakukan baik dengan directional coupler maupun lempengan yang berfungsi sebagai pemantul sebagian yang disebut beam splitter. Penggunaan beam splitter membuat kejelasan yang mendekati lengkap, bila sinyal datang lebih lemah dibandingkan dengan output LO.

Berdasarkan persamaan (4-8) informasi dikirimkan dengan mengubah fase dari gelombang yang ditransmisikan. Untuk pulsa 0 sinyal dan LO yang berbeda fase, maka jumlah resultan pasangan elektron hole yang dibangkitkan adalah :

$$\bar{N}_0 = (A_{LO} - A_s)^2 T \quad (4-25)$$

Dengan cara yang sama untuk pulsa 1 sinyal sefase, maka

$$\bar{N}_1 = (A_{LO} + A_s)^2 T \quad (4-26)$$



Gambar 3.10¹⁰
Diagram Penerima Homodyne

Tegangan yang timbul dari dekoder pada penerima adalah

$$V = \overline{N}_1 - \overline{N}_0 = (A_{LO} - A_s)^2 T - (A_{LO} + A_s)^2 T = 4 A_{LO} A_s T \quad (4-27)$$

dan noise rmsnya adalah

$$\sigma = \sqrt{A_{LO}^2 T} \quad (4-28)$$

Sama seperti terdahulu untuk kondisi deteksi homodyne OOK, kondisi $V/\sigma = 12$ untuk BER 10^{-9} menghasilkan

$$A_{LO}^2 T = 9 \quad (4-29)$$

Berdasarkan hal tersebut, untuk deteksi homodyne PSK ideal ($\eta = 1$), rata-rata dibutuhkan 9 photon per bit untuk mencapai BER 10^{-9} . Pada sistem ini tidak perlu dipertimbangkan perbedaan antara photon tiap pulsa dan photon tiap bit seperti pada kondisi OOK. Sehingga diperoleh BER berikut :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{2\eta N_p} \quad (4-30)$$

¹⁰ Ibid., p. 388.

4.5.4 Deteksi Heterodyne

Penerima heterodyne membutuhkan analisa yang lebih rumit dibandingkan dengan kondisi homodyne. hal ini dikarenakan output photodetector muncul pada frekuensi intermediate ω_{IF} . Ciri yang terdapat pada penerima heterodyne adalah dapat menggunakan baik deteksi sinkron maupun asinkron. Konfigurasi umum dari penerima dapat ditunjukkan gambar 4.11.

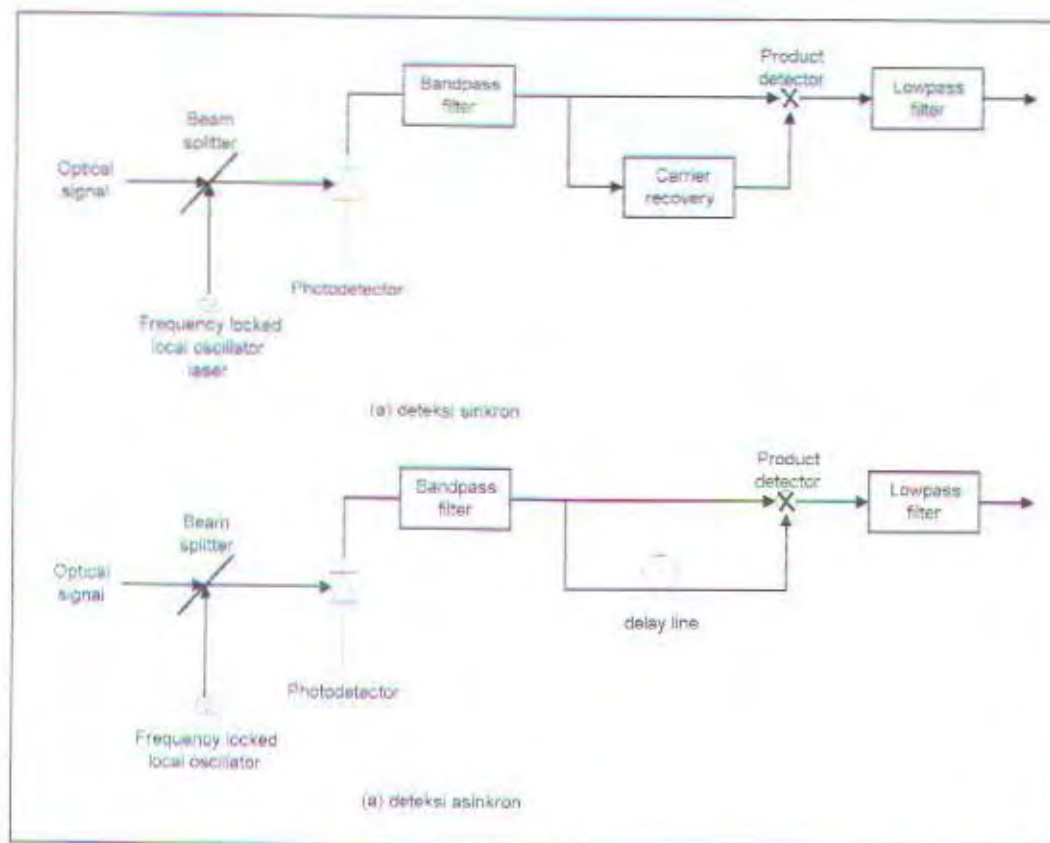
Pada deteksi sinkron PSK digunakan rangkaian rekoveri carrier, yang mana biasanya menggunakan PLL microwave, untuk membangkitkan fase lokal referensi. Carrier frekuensi menengah dibentuk kembali dengan pencampuran output dari PLL dengan sinyal frekuensi menengah. Adakala digunakan low pass filter untuk membentuk kembali sinyal baseband. BER untuk sinkron heterodyne PSK dinyatakan dalam :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\eta N_F} \quad (4-31)$$

Pada kondisi ideal penerima PSK membutuhkan 18 photon tiap bit untuk BER 10^{-9} , sama dengan deteksi homodyne OOK.

Suatu teknik sederhana namun tepat adalah dengan tidak menggunakan PLL, yaitu asynchronous detection (deteksi asinkron). Teknik ini disebut dengan differential PSK atau DPSK. Dengan metoda PSK informasi dikodekan dengan perubahan pada fase optik, mixer akan menghasilkan output positif atau negatif yang bergantung perubahan fase sinyal yang diterima dari bit terdahulu.

Informasi yang ditransmisikan kemudian dibentuk kembali dari output tersebut. Teknik DPSK ini memiliki sensitivitas yang mendekati sensitivitas deteksi heterodyne sinkron PSK, dengan BER :



Gambar 4.11¹¹
Konfigurasi Umum Penerima Heterodyne

$$BER = \frac{1}{2} \exp(-\eta \bar{N}_p) \quad (4-32)$$

Untuk BER 10^{-9} membutuhkan 20 photon tiap bit. Analog dengan kondisi PSK, deteksi sinkron heterodyne OOK memiliki sensitivitas 3 dB lebih rendah dibandingkan dengan homodyne OOK. Sehingga BERnya adalah

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{1}{2} \eta \bar{N}_p} \quad (4-33)$$

¹¹ Ibid., p. 390.

Tabel 4.1¹²
Probability of error untuk Sistem Koheren

Modulation	Probability of error			
	Homodyne	Heterodyne		Direct detection
		Synchronous detection	Asynchronous detection	
On-off keying (OOK)	$\frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\eta \bar{N}_p)^{1/2}$	$\frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\frac{1}{2} \eta \bar{N}_p)^{1/2}$	$\frac{1}{2} \exp(-\frac{1}{2} \eta \bar{N}_p)$	$\frac{1}{2} \exp(-2 \eta \bar{N}_p)$
Phase-shift keying (PSK)	$\frac{1}{2} \operatorname{erfc}(2 \eta \bar{N}_p)^{1/2}$	$\frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\eta \bar{N}_p)^{1/2}$	$\frac{1}{2} \exp(-\eta \bar{N}_p)$	—
Frequency-shift keying (FSK)	—	$\frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\frac{1}{2} \eta \bar{N}_p)^{1/2}$	$\frac{1}{2} \exp(-\frac{1}{2} \eta \bar{N}_p)$	—

Untuk mencapai BER 10^{-9} dibutuhkan minimal 36 photon. Pada keadaan deteksi heterodyne asinkron OOK, BERnya adalah :

$$BER = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{1}{2} \eta \bar{N}_p\right) \quad (4-34)$$

Sehingga deteksi heterodyne asinkron OOK membutuhkan 40 photon tiap bit untuk mencapai BER 10^{-9} , dengan sensitivitas lebih kecil 3 dB dibandingkan DPSK.

4.6 SISTEM TRANSMISI KOHEREN

Penggunaan sistem koheren dalam sistem komunikasi serat optik diutamakan dalam hal memanfaatkan kelebihan bandwidth yang dimiliki. Sistem

¹² Ibid., p. 391.

koheren yang digunakan dalam hal ini dapat berupa deteksi heterodyne ataupun deteksi homodyne.

Pada gambar 4.12 dapat dilihat diagram blok dari penerima direct detection (DD) dan penerima deteksi heterodyne. Pada penerima heterodyne, gelombang sinyal dan local oscillator digabungkan pada pengkopel optik dan diletakkan pada detektor sehingga dua medan elektrik ditambahkan secara bersama. Output frekuensi intermediate (IF) diubah menjadi sinyal baseband.

Pada diagram blok deteksi heterodyne, input frekuensi f_L menunjukkan sinyal LO sedangkan f_s menunjukkan sinyal. LO dapat dinyatakan dengan :

$$E_L = A_0 \cos \omega_0 t \quad (4-35)$$

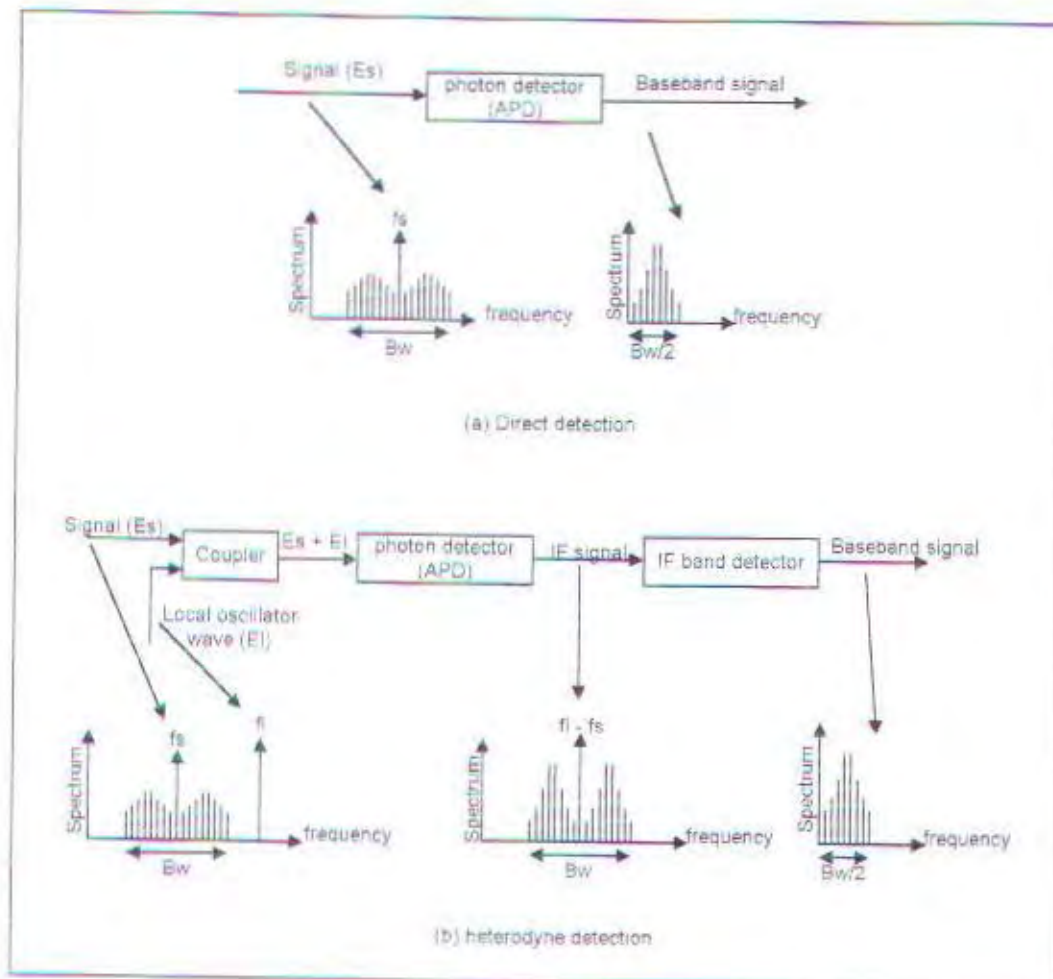
dan sinyal dapat dinyatakan dengan

$$E_s = A_s \cos \omega_s t \quad (4-36)$$

Tabel 4.2¹³
Jumlah Photon yang dibutuhkan untuk BER 10^{-9}

Modulation	Number of photons			
	Homodyne	Heterodyne		Direct detection
		Synchronous detection	Asynchronous detection	
On-off keying (OOK)	18	36	40	10
Phase-shift keying (PSK)	9	18	20	—
Frequency-shift keying (FSK)	—	36	40	—

¹³ Ibid., p. 392.



Gambar 4.12¹⁴
Diagram Blok Penerima Optik

Arus pada output dari photodetector dinyatakan

$$i = a \left(A_0 \cos \omega_0 t + A_s \cos \omega_s t \right)^2 \quad (4-37)$$

Sebagai hasil dari persamaan (4-37), hasil penggabungan antara dua sinyal menghasilkan frekuensi jumlah dan beda. Penjumlahan dari frekuensi terlalu tinggi untuk dilewatkan melalui detektor optik dan dapat diabaikan. Sehingga diperoleh

¹⁴ Kiyoshi Nosu, Op.Cit., p. 16.

$$i = a \left[\frac{1}{2} (A_0^2 + A_s^2) + A_0 A_s \cos(\omega_0 + \omega_s)t \right] \quad (4-38)$$

Suku $A_0 A_s \cos(\omega_0 + \omega_s)t$ menyatakan selisih antara sinyal dan local oscillator dan merupakan carrier frekuensi intermediate yang diinginkan. Daya carrier IF bergantung pada hasil daya cahaya LO P_0 dan daya cahaya sinyal P_s , di mana daya output listrik DD sebanding dengan kuadrat dari daya optik sinyal sendiri.

Sebagai dampak dari arus sinyal dan arus IF yang diinginkan, terdapat noise shot yang menyertai arus i_{sN} dan arus noise thermal i_{tN} yaitu

$$(i_{sN})^2 = 2 a q (P_0 + P_s) B \quad (4-39)$$

$$(i_{tN})^2 = i_{eq}^2 B \quad (4-40)$$

di mana B merupakan bandwidth sinyal dan i_{eq} merupakan kerapatan arus noise ekuivalen.

Perbandingan daya carrier IF terhadap noise, C/N dinyatakan dengan

$$C/N = (2a^2 P_0 P_s) / [2aq(P_0 + P_s)B + i_{eq}^2 2B] \quad (4-41)$$

P_0 dibuat lebih besar daripada P_s dan cukup untuk menghalangi noise thermal.

Pada kondisi ini konsekuensinya adalah noise shot yang dihasilkan oleh LO.

$$C/N = a P_s / q B \quad (4-42)$$

Dari direct detector APD dapat diketahui pendekatan SNR yaitu

$$S/N = 2(a^2 P_0 P_s) / [2aq P_s M^2 + xB + i_{eq}^2 B] \quad (4-43)$$

di mana M merupakan penguatan perkalian APD, x adalah parameter noise. Pada prinsipnya, deteksi heterodyne dapat menjangkau limit quantum dengan meningkatkan daya LO, di mana DD membutuhkan noise rendah, penguatan perkalian APD tinggi. Standar yang digunakan pada panjang gelombang 1,3 - 1,5 μm dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3¹⁵

Jumlah Photon Pada Penerima Optik

Comparison of Receiver Sensitivity (1,3 - 1,5 μm)		
Modulation / demodulation	theoretical limit	present state of art
PSK homodyne	9 photon / bit	34 photon / bit
PSK heterodyne	18 photon / bit	45 photon / bit
IM DD	10 photon / bit	1000 photon / bit

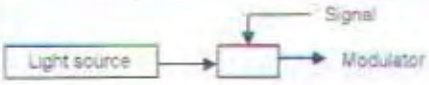
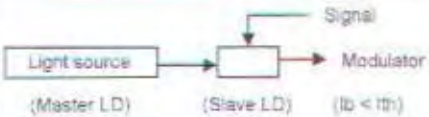
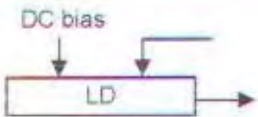
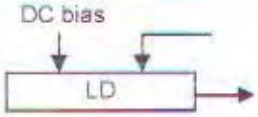
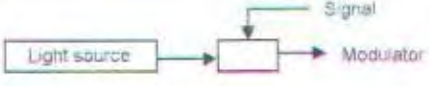
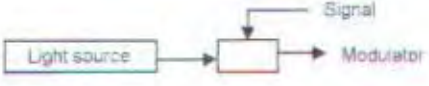
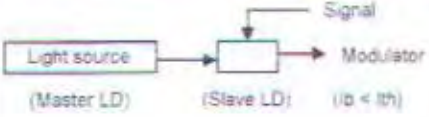
$$\lim_{x \rightarrow 0} M \rightarrow (S/N) = aP_s / qB \quad (4-45)$$

Meskipun deteksi heterodyne membutuhkan rangkaian elektrik dan optik dan lebih rumit, namun memiliki keuntungan dibandingkan dengan DD. Keuntungan yang dimiliki lebih ditekankan pada perbaikan sensitivitas. Selain itu deteksi heterodyne sangat responsif terhadap fase atau frekuensi optik, memungkinkan penggunaan modulasi yang lebih baik.

Pada penerima heterodyne, distorsi bentuk gelombang optik yang dialami yaitu dispersi kromatik dapat dikompensasi dengan equalizer fase elektrik pada band IF elektrik. Penggunaan yang lain dari band IF tersebut untuk pemilihan hanel FDM Optik.

¹⁵ Gerd Keiser, Op.Cit. p. 391.

Tabel 4.4¹⁶
Transmitter Optik Transmisi Koheren

Modulation scheme	Modulation device	Modulation circuit
ASK (OOK)	E - O modulator	
	Injection Locked LD	
	Direct modulation	
FSK	Direct modulation	
	E - O Modulator	
PSK	E - O Modulator	
	Injection Locked LD	

¹⁶ Kiyoshi Nosu, OpCit, p. 18.

Tabel 4.5¹⁷
Receiver Optik Sistem Koheren

Modulation Scheme		Modulation Device	Modulation Circuit
ASK	Heterodyne		
	Homodyne		
FSK	Heterodyne		
PSK	Heterodyne		
	Homodyne		

¹⁷ Ibid, p.19.

5. Dengan penggunaan penguat optik, maka dapat memperlebar rentang transmisi antar terminal maupun antar terminal dengan pengulang. Dengan penguat optik dapat mengurangi jumlah pengulang yang dipergunakan bahkan dapat tidak menggunakan pengulang hingga rentang transmisi tertentu.
6. Teknik sistem koheren pada sistem komunikasi optik memberikan keuntungan dalam hal sensitivitas penerima yang baik, yang diukur dengan jumlah photon yang diperlukan untuk mencapai BER 10^{-9} .
7. Deteksi heterodyne pada sistem koheren lebih memungkinkan pengimplementasiannya dalam praktik, karena harga frekuensi intermediatnya tidak berharga nol seperti pada deteksi homodyne.

5.2 SARAN

Penggunaan penguat optik pada sistem komunikasi optik, khususnya untuk aplikasi jarak jauh akan lebih menguntungkan karena dapat memperlebar rentang transmisi hingga rentang tertentu, bahkan tanpa menggunakan pengulang. Namun dalam pengimplementasiannya harus diperlukan desain penguat optik sedemikian rupa sehingga diperoleh keefektifan harga sistem secara keseluruhan. Pengimplementasian sistem deteksi heterodyne dari sistem koheren pada sistem komunikasi dengan kecepatan tinggi haruslah perlu desain peralatan tertentu karena frekuensi sinyal dan frekuensi local oscillator tiap peralatan harganya berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

1. A. M. J. Koonen, F. W. Willems, P. J. J. Stassar, **SYSTEM APPLICATIONS OF ERBIUM DOPED FIBRE AMPLIFIER**, Trends in Telecommunications, Vol. 3 No. 3.
2. AT&T, **LIGHTWAVE UNDERSEA TRANSMISSION SYSTEMS**, Document Presentation, AT&T, Colorado, 1990.
3. AT&T, **UNDERSEA COMMUNICATIONS TECHNOLOGY**, AT&T Technical Journal, February, 1995, Volume 74, Number 1.
4. CCITT, **REC. G702**, Melbourne, 1988.
5. C. Kelly, Greg May, Pete Roorda, D. Barriskill, **WDM TECHNOLOGIES IN TELECOMMUNICATIONS**, May 9, 1995.
6. Elane K. Stafford, J. Marino, M. M. Sanders, **UNDERSEA NON REPEATERED TECHNOLOGY, PRODUCT, AND CHALLENGER**, AT&T Technical Journal, January, 1995.
7. Frederick C. Allard, **FIBER OPTICS HANDBOOK FOR ENGINEERING AND SCIENTISTS**, McGraw-Hill, Inc, Singapore, 1990.
8. Gerd Keiser, **OPTICAL FIBER COMMUNICATIONS**, McGraw-Hill, Inc, Singapore, 1991.
9. J. C. Palais, **FIBER OPTIC COMMUNICATION**, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey, 1988.
10. John L. Zyskind, C. Randy Giles, Jay R. Simpson, David J. DiGiovanni, **ERBIUM DOPED FIBRE AMPLIFIER TECHNOLOGY**, Trends In Telecommunications, Vol. 8 No. 3.
11. J. P. Blondel, P. M. Gabla, **OPTICAL AMPLIFICATION IN SUBMARINE SYSTEMS : NEW CONCEPTS AND ULTIMATE LIMITS**, Alcatel

- Submarcom, Centre de Villarceaux, 1995.
12. Kiyoshi Nosu, **ADVANCED COHERENT LIGHTWAVE TECHNOLOGIES**, IEEE Communications Magazine, February, 1998, Vol. 26, No. 2.
 13. NTT, **OVERVIEW OF SUBMARINE TECHNOLOGY**, NTT, 1995.
 14. NTT, **SUBMARINE CABLE SYSTEM TECHNOLOGY**, NTT, 1995.
 15. Optigain, Inc. **FIBER OPTICAL AMPLIFIERS**, Optigain, Inc. Active Fiber Devices & Applications, Kingstown Road, Peace Dale, USA, 1998.
 16. Paul M. Gabla, **OPTICAL AMPLIFICATION : THE SEED FOR EXPANSION OF SUBMARINE CABLE NETWORK**, Alcatel Submarine Network, Hawaii USA, 22 - 26 January, 1995.
 17. P. T. Indosat, **CONTRACT FOR FIBER SUBMARINE CABLE SYSTEM SEA ME WE II S. I.**, Alcatel Submarcom, Jakarta, 1990.
 18. P. T. Telekomunikasi Indonesia, **REPEATERED SYSTEMS**, AT&T Submarine Systems, Inc, 1995.
 19. P. T. Telekomunikasi Indonesia, **TECHNICAL SEMINAR**, AT&T, July, 1995.
 20. Richard A. Linke, **OPTICAL HETERODYNE COMMUNICATIONS SYSTEMS**, IEEE Communications Magazine, October, 1989.
 21. Siemens, **MINISUB SUBMARINE CABLE SYSTEMS**, Submarine Cable Technology, April, 1992.
 22. Stuart S. Wagner, Haim Kobrinski, **WDM APPLICATIONS IN BROADBAND TELECOMMUNICATION NETWORKS**, IEEE Communications Magazine, March, 1989.

LAMPIRAN A

DAFTAR SINGKATAN

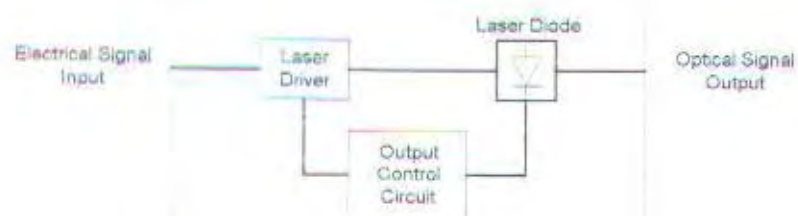
ASE	: Amplified Spontaneous Emission
BU	: Branching Unit
CEPT	: Conference of European Posts and Telecommunications
CFLTTS	: Cable Fault Location Test
CTE	: Cable Terminating Equipment
DSF	: Dispersion Shifted Fiber
EDFA	: Erbium Doped Fiber Amplifier
HLLB	: High Loss Loop Back
HTS	: Hot Transfer Switch
IM/DD	: Intensity Modulation / Direct Detection
LME	: Line Monitoring Equipment
LMS	: Line Monitoring System
LT	: Load Transfer
OGP	: Ocean Ground Protection
OOK	: On Off Keying
PDF	: Probability Density Function
PDG	: Polarization Dependent Gain
PDL	: Polarization Dependent Loss
PFE	: Power Feed Equipment
PM	: Power Monitoring

PMD	: Polarization Mode Dispersion
PR	: Power Regulating
RSE	: Repeater Supervisory Equipment
SBS	: Stimulated Brillouin Scattering
SDH	: Synchronous Digital Hierarchy
SE	: Supervisory Equipment
SPM	: Self Phase Modulation
TE	: Terminal Equipment
TTE	: Terminal Transmission Equipment

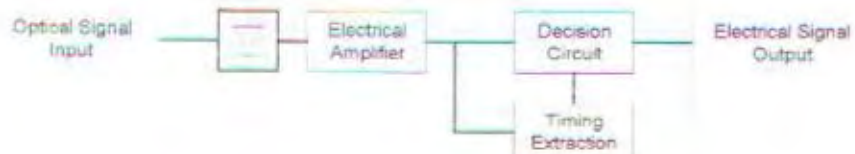
LAMPIRAN B

TEKNIK INTENSITY MODULATION / DIRECT DETECTION

OPTICAL SENDER (Intensity Modulation)



OPTICAL RECEIVER (Direct Detection)



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

EE 1799 TUGAS AKHIR - 6 SKS

Nama Mahasiswa : NOERCHOLIS FIRMANSYAH
 Nomor Pokok : 2293.100.035
 Bidang Studi : TEKNIK TELEKOMUNIKASI
 Dosen Pembimbing : Ir. HANG SUHARTO, M.Sc.
 Diberikan pada : September 1997
 Judul Tugas Akhir :

**SUPER HIGHWAY TRUNK SYSTEM MENGGUNAKAN
 OPTIC AMPLIFIER DAN SISTEM KOHEREN**

Uraian Tugas Akhir :

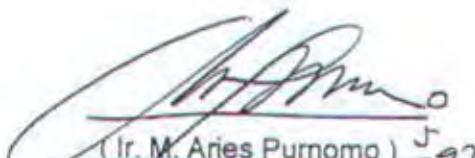
Dengan semakin banyaknya layanan telekomunikasi seperti multimedia atau ISDN maka sangat dibutuhkan suatu jaringan yang dapat memberikan layanan telekomunikasi dengan kecepatan yang tinggi dan memuaskan. Super Highway Trunk System merupakan jaringan serak optik jarak jauh yang menggunakan teknologi Synchronous Digital Hierarchy (SDH) dengan prosedur multiplek Synchronous Transport Module (STM - 16).

Jaringan ini dapat digunakan sebagai alternatif untuk layanan telekomunikasi yang membutuhkan kecepatan tinggi dan memuaskan. Dalam sistem ini digunakan optic amplifier dan sistem koheren yang memiliki keuntungan antara lain daya yang tinggi, penguatan besar, insertion loss kecil, sehingga sangat cocok untuk diterapkan pada sistem komunikasi jarak jauh tanpa repeater.

Tugas akhir ini akan mempelajari mengenai penggunaan optic amplifier dan sistem koheren pada jaringan serat optik jarak jauh sehingga memungkinkan tidak menggunakan repeater.

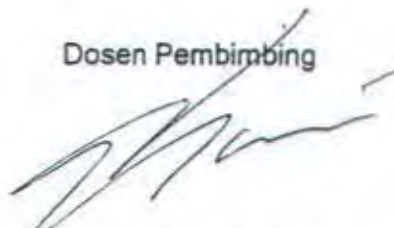
Surabaya, September 1997

Bidang Studi Teknik Telekomunikasi
 Koordinator


 (Ir. M. Aries Purnomo)
 NIP. 130 532 040

Menyetujui,

Dosen Pembimbing


 (Ir. Hang Suharto, M.Sc.)
 NIP. 130 520 753

Mengetahui
 Jurusan Teknik Elektro
 Ketua,



(Ir. Teguh Yuwono)
 NIP. 130 604 244

USULAN TUGAS AKHIR

- A. JUDUL : SUPER HIGHWAY TRUNK SYSTEM,
MENGGUNAKAN OPTIC AMPLIFIER DAN SISTEM
KOHEREN
- B. RUANG LINGKUP : ☐ Sistem Komunikasi Optik
☐ Sistem Komunikasi I
☐ Sistem Komunikasi II
☐ Teknik Jaringan Telekomunikasi
- C. LATAR BELAKANG : Pertumbuhan teknologi yang sangat cepat saat ini
berimbas pada bidang telekomunikasi. Para pengguna
jasa telekomunikasi menuntut adanya layanan
telekomunikasi baik itu berupa suara, data, multimedia
maupun ISDN. Layanan - layanan tersebut
membutuhkan kecepatan pengiriman yang sangat
tinggi untuk dapat memuaskan para pengguna jasa
telekomunikasi. Hal ini tentunya membutuhkan suatu
jaringan yang dapat melaksanakan layanan
telekomunikasi tersebut.
- Super Highway Trunk System merupakan suatu
jaringan serat optik jarak jauh yang dapat melayani
jasa telekomunikasi dengan kecepatan tinggi dan hasil
memuaskan. Jaringan ini merupakan alternatif cara
untuk mengatasi hal tersebut.
- Pada sistem ini digunakan optic amplifier dan sistem
koheren yang mempunyai kelebihan dalam hal daya
yang tinggi, penguatan besar dan insertion loss yang
kecil yang memungkinkan diterapkan pada sistem
komunikasi jarak jauh tanpa repeater.
- D. PENELAAHAN STUDI : Dalam tugas akhir ini akan dipelajari hal - hal yang
berkaitan dengan :
- ✦ Jaringan serat optik
 - ✦ Sistem Komunikasi Serat Optik
 - ✦ Synchronous Digital Hierarchy dan
Synchronous Transport Module

- ✦ Wavelength Division Multiplexing
- ✦ Optic Amplifier dan Sistem Koheren

Selain itu dipelajari referensi - referensi lainnya.

E. TUJUAN : Untuk mengetahui penggunaan optic amplifier dan sistem koheren pada suatu jaringan serat optik.

F. LANGKAH - LANGKAH :

1. Studi Literatur
2. Pengumpulan data
3. Pengolahan data
4. Penyusunan naskah

G. JADWAL KERJA :

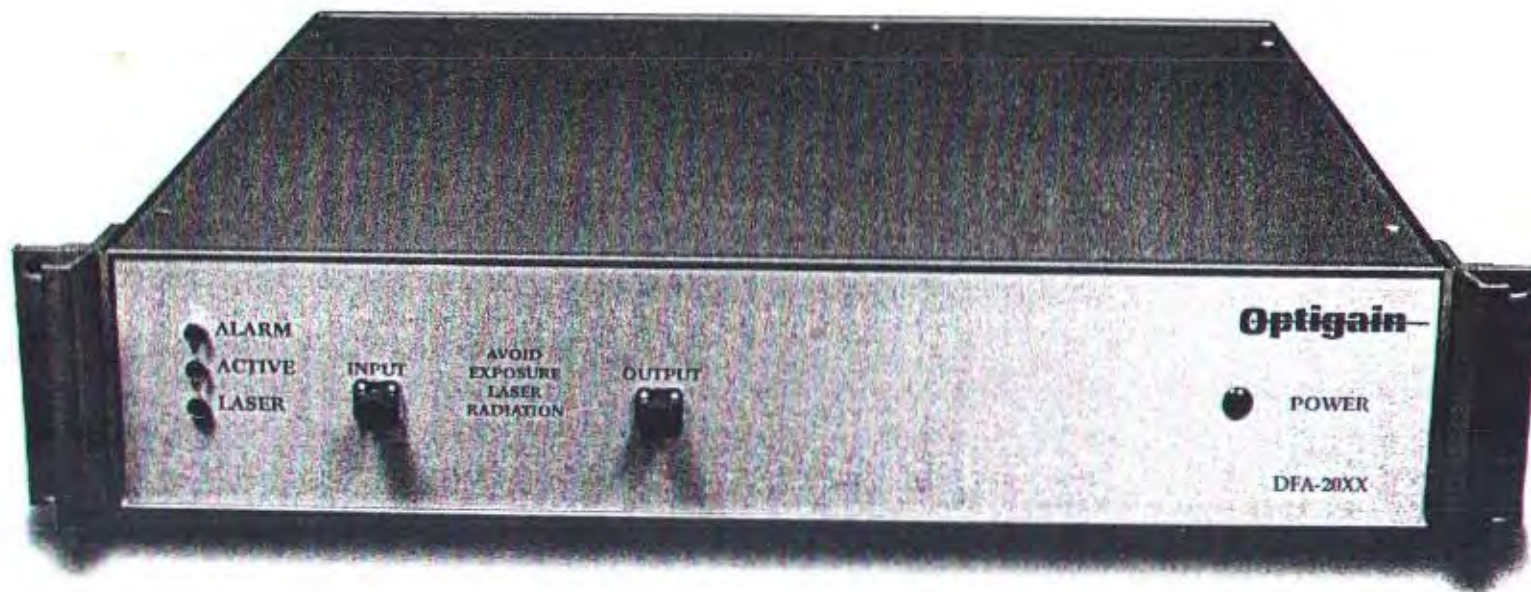
NO	KEGIATAN	BULAN					
		1	2	3	4	5	6
1	STUDI LITERATUR						
2	PENGUMPULAN DATA						
3	PENGOLAHAN DATA						
4	PENYUSUNAN NASKAH						

H. RELEVANSI : Diharapkan tugas akhir ini dapat menjadi salah satu acuan alternatif cara pemenuhan layanan telekomunikasi.

ERBIUM DOPED FIBER OPTICAL AMPLIFIER

Model DFA-20XX

XX: 00, 13, 17 or 20 for models with 00 (Preamp), +13 dBm (20 mW), +17 dBm (50 mW), +20 dBm (100 mW) output powers



FEATURES

High Output Power
Wide Bandwidth
Wide Operating Temperature
Connectorized (options available)
Optical Input/Output Taps
Customized Options
Monitoring and Control
Optically Isolated Output and Input

Pre-amplifier
Long Haul Telecom
Signal Booster
Line Amplifier

The DFA-20XX Amplifiers incorporate a 25-pin back-connector for monitoring and control

ERBIUM DOPED FIBER OPTICAL AMPLIFIER

DFA-20XX Power Amplifier Optical Specifications

Optical Noise Figure	<5 dB
Optical Bandwidth	1530-1565 nm
Optical Isolation on Output	Yes
Optical Isolation on Input	optional

DFA-20XX Specifications

Power Supply	+120 VAC @ 60 Hz
Typical Power Consumption	<10 W
Maximum Electrical Power Consumption	<20 W
Rack Height	3.75 inches
Operating Temperature (Ambient)*	0 to 50 °C
Storage Temperature	-20 to 85 °C
Relative Humidity	95 % noncondensing

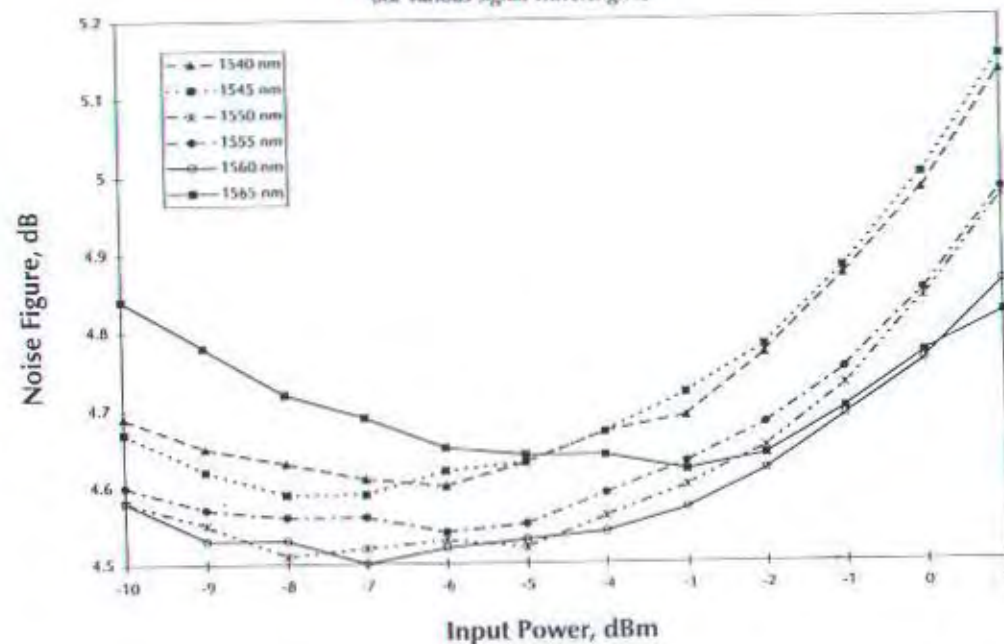
* Optional 25 - pin connector for monitoring & control

Connectors	Input Isolator	RF Monitoring	Number of Pumps
A SC/APC	A Yes	A Yes	S Single
B FC/APC	B No	B No	D Dual
C E2000/APC			
D Custom			

Example: DFA 2013 ARAS - 13 dBm output with SC/APC connectors, no input isolator with RF monitoring and single pump

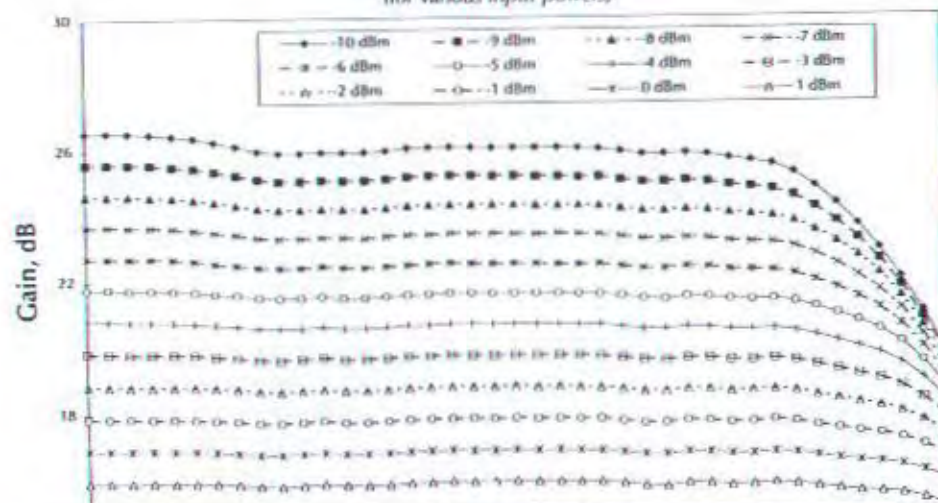
Noise Figure vs. Input Power

(for various signal wavelengths)



Gain vs. Wavelength

(for various input powers)



DANGER

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di kota Surabaya pada tanggal 27 Desember 1974 dengan nama lengkap Noercholis Firmansyah, dari pasangan orang tua Drs. Suparto dan Dra. Sundari. Penulis beragama Islam dan beralamat di Jalan Karang Empat 191, Surabaya, Jawa Timur. Penulis adalah anak kedua dari tiga orang bersaudara.

Riwayat Pendidikan Penulis :

1. SD Muhammadiyah 2 Surabaya, Jawa Timur, lulus tahun 1987.
2. SMP Negeri 1 Surabaya, Jawa Timur, lulus tahun 1990.
3. SMA Negeri 5 Surabaya, Jawa Timur, lulus tahun 1993.
4. Jurusan Teknik Elektro - Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), diterima melalui jalur UMPTN tahun 1993, dengan nomor pokok 293 220 2050.

Saat ini penulis sedang menyelesaikan tugas akhir pada bidang studi Teknik Telekomunikasi.

Pengalaman Kemahasiswaan :

1. Panitia Dialog Ramadhan, Ramadhan Di Kampus, JMMI - ITS, tahun 1995.
2. Koordinator Acara Tim Demisioner Pengurus Himatektro, tahun 1996.
3. Asisten Praktikum Dasar Sistem Komunikasi, Praktikum Sistem Komunikasi I, Praktikum Sistem Komunikasi II, tahun 1996 - 1997.
4. Koordinator Praktikum Dasar Sistem Komunikasi, tahun 1997.
5. Sekretaris Panitia Study Excursie mahasiswa Teknik Elektro - FTI - ITS, tahun 1997.